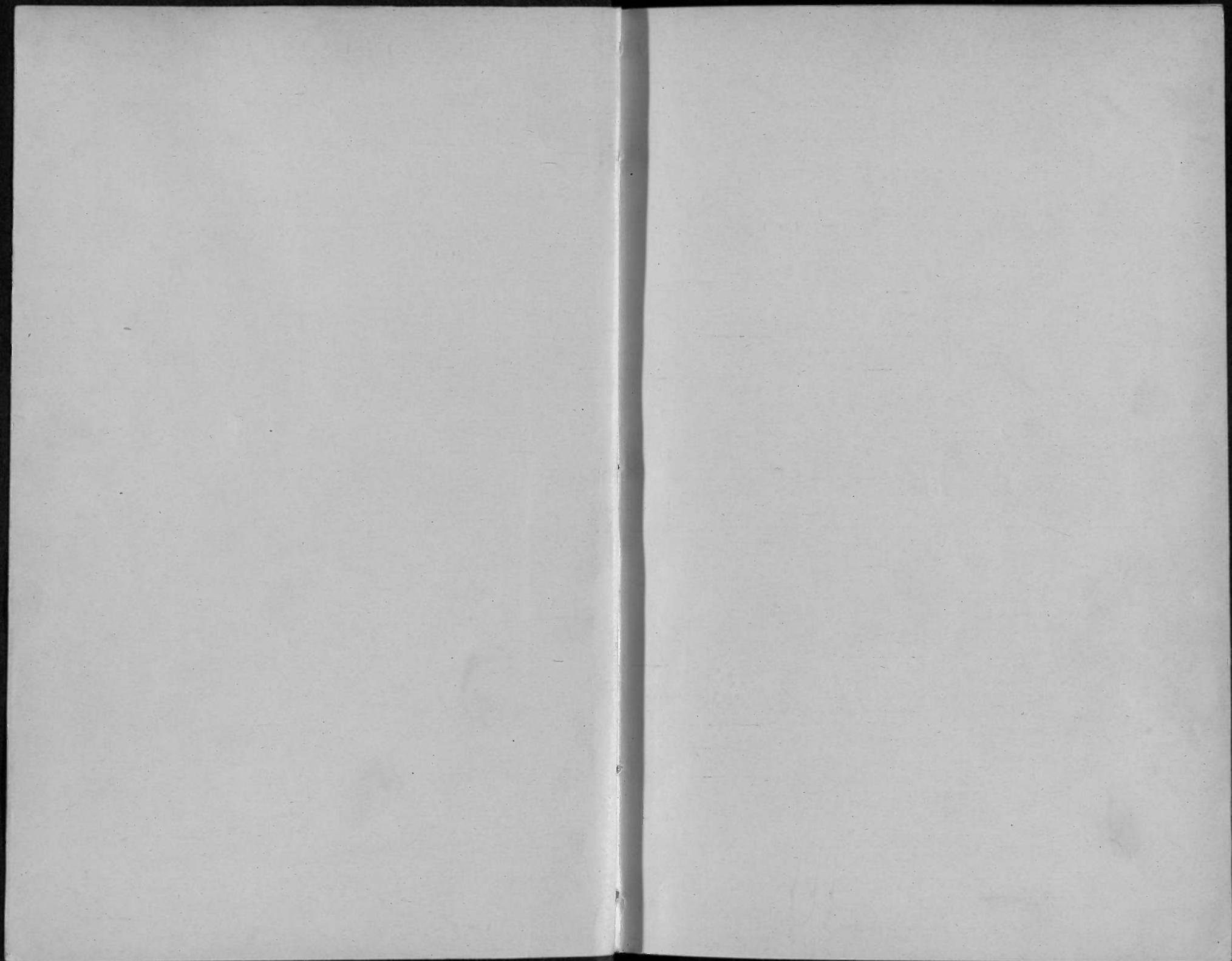


Det.

2lex.



ANNALES  
DES MINES

*S. J. B.*



Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une Commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux publics. Cette Commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

MM.	MM.
LINDER, inspecteur gén. des mines, <i>président.</i>	NIVOIT, inspecteur général.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE, insp. gén., direct de l'Ecole sup. des mines.	CHEYSSON, insp. gén. des ponts et chaussées, professeur à l'Ecole supérieure des mines.
ORSEL, inspecteur général.	POTIER, ingénieur en chef, prof. à l'Ecole supérieure des mines.
LORIEUX, d°	LEDoux, d°
PESLIN, d°	DOUVILLÉ, d°
VICAIRE, inspect. gén., professeur à l'Ecole supérieure des mines.	BENRAND, d°
CARNOT, insp. gén., inspecteur de l'Ecole supérieure des mines.	LE CHATELIER, d°
AGUILON, insp. gén., professeur à l'Ecole supérieure des mines.	LODIN, d°
KEILLER, insp. gén., secrétaire de la Commission de la statistique de l'industrie minière.	SAUVAGE, ing. des mines, profes. à l'Ecole supérieure des mines.
WORMS DE ROMILLY, insp. gén.	HUMBERT, d°
	TERMIER, d°
	DE LAUNAY, d°
	ZEILLER, ingénieur en chef, <i>secrétaire de la Commission.</i>

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 40 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé 40 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1<sup>rs</sup> 25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0<sup>rs</sup> 25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'Etranger.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

# ANNALES DES MINES

OU

## RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

### NEUVIÈME SÉRIE

MÉMOIRES. — TOME XII.

PARIS

P. VICQ-DUNOD ET C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES  
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Grands-Augustins, 49

1897





# ANNALES DES MINES

NOTE

SUR LES

## TRAVAUX DE RECHERCHE

EXÉCUTÉS A MEYMAC

Par M. P.-L. BURTHE, Ingénieur civil des Mines.

A diverses époques depuis le commencement du siècle, les minerais d'étain ont été recherchés en France: à Piriac et à la Villeder, en Bretagne; — à Cieux et à Vaulry, dans la Haute-Vienne; à Montebas, dans la Creuse; — à Meymac, dans la Corrèze. Aucune de ces tentatives n'a abouti jusqu'à ce jour à l'ouverture d'une mine; aucune, sauf celle de Cieux, n'a été l'objet d'une publication un peu détaillée, en sorte que les faits qu'on y a constatés ont été peu connus et sont tombés presque complètement dans l'oubli. Cette circonstance est regrettable, car une reprise éventuelle de ces recherches ne tirerait aucun profit des recherches antérieures. — Bien plus, en dehors des localités citées ci-dessus, il existe en France nombre de points, principalement dans la région du Centre (\*), où la présence de l'étain a été reconnue

(\*) MALLARD, *Annales des Mines*, 2<sup>e</sup> vol. de 1866, p. 321.

dans les déblais d'excavations d'âge très reculé. Si jamais on y recherchait ce métal, on trouverait un guide précieux, dans les indices favorables ou contraires, reconnus sur des gisements similaires. Aussi, ayant suivi de près les récentes explorations de Meymac, ai-je pensé qu'il ne serait pas sans intérêt d'en donner une description qui en fixe le souvenir.

**Historique.** — Les gisements de Meymac ont été découverts, en 1867, par M. Vény et M. Ad. Carnot. M. Vény, conducteur des Ponts et Chaussées, en cherchant des matériaux d'empierrement pour la route de Tulle à Clermont, fit abattre près de cette route un affleurement de quartz blanc, laiteux, qui pointait au-dessus du granite sur le flanc Est de la montagne dite des Gardes, à 1 kilomètre environ au sud de la ville de Meymac. Cet affleurement formait une masse de dimensions très restreintes, 10 mètres de longueur sur 4 de largeur, limitée en tous sens à la surface par le granite à mica noir et à grain moyen, qui constitue la masse de la montagne. En l'abattant, on mit à découvert des blocs d'un minerai noir, lourd et brillant, que M. Carnot, alors Ingénieur des Mines à Limoges, en tournée d'inspection dans la Corrèze, reconnut pour être du wolfram. Il encouragea les recherches, se fit envoyer des échantillons pour les examiner dans son laboratoire et revint plusieurs fois visiter les travaux. Il découvrit ainsi divers minéraux, qu'il analysa et décrivit plus tard avec détail<sup>(\*)</sup> : bismuth natif, sulfuré, et hydrocarbonaté; — pyrite de fer, mispickel très faiblement cobaltifère; — carbonate, sulfate, chlorophosphate et molybdate de plomb; — wolfram, shéelite,

(\*) Association pour l'avancement des sciences. Congrès de Lyon, 1873; — *Annales de Physique et de Chimie*, 1874; — *C. R. de l'Académie des Sciences*, etc.

et acide tungstique hydraté, auquel M. Carnot donna le nom de *meymacite*.

Ces matières étaient accompagnées d'oxyde de fer hydraté en masses cavernueuses et d'un peu d'oxyde de manganèse. L'oxyde de fer teinte souvent les joints du quartz, dont la cassure est blanche, à éclat gras et très esquilleuse.

Dans le but de reconnaître en profondeur la masse quartzreuse, on fonda un puits à son extrémité Nord-Est (puits n° 1), et on ouvrit vers le Nord une galerie d'écoulement, qui, amorcée au pied de la colline, vint aboutir au puits à 24 mètres de profondeur, après un parcours de 156 mètres. Quelques galeries exécutées au niveau asséché par la galerie d'écoulement firent reconnaître une masse importante de pyrite de fer légèrement cuivreuse et bisnuthifère. Au milieu des échantillons qui lui furent envoyés à cette époque, M. Carnot signala un cristal isolé de cassitérite de près de 1 centimètre de longueur. C'était le premier indice de l'existence, reconnue plus tard, d'un gîte de minerai d'étain.

En même temps, M. Vény explorait les environs et on reconnaissait plusieurs affleurements :

1° A 400 mètres environ à l'Ouest du puits n° 1, au fond de la tranchée du chemin de fer de Tulle à Clermont, un pointement de quartz stérile, qu'on chercha à recouper, sans y parvenir d'ailleurs, par le puits dit n° 2, profond de 24 mètres et une galerie de quelques mètres vers le Sud;

2° A 265 mètres au Sud-Ouest du puits n° 1, une masse de roche porphyrique renfermant dans sa pâte divers minéraux, entre autres du sulfure de bismuth, et qu'on explora par le puits n° 3, profond de 20<sup>m</sup>, 80;

3° A 1 kilomètre environ à l'Est-Nord-Est du puits n° 1, près du village de la Grange, une masse de cette même roche porphyrique, parsemée de quartz blanc, également

minéralisée et bismuthifère, mais à un moindre degré, sur laquelle aucun travail n'a été encore exécuté.

Toutes ces recherches avaient pour but exclusif le bismuth, et, de fait, on découvrit une quantité suffisante de minerai au point n° 1 pour en extraire quelques centaines de kilogrammes de ce métal, par un ingénieux procédé de traitement dû à M. Carnot (\*). Mais les travaux n'avaient développé le gisement ni en profondeur, ni en direction. Ils durent être arrêtés en 1883, faute de ressources pécuniaires suffisantes.

En 1891, une nouvelle étude de la concession y fit découvrir des affleurements distincts de ceux précédemment reconnus et constata la présence de la cassitérite dans les déblais des anciens travaux et dans les résidus du traitement des minerais qu'on en avait extraits. Le fait n'avait rien de surprenant. On sait en effet que les minéraux si variés, trouvés au puits n° 1, se rencontrent fréquemment aux affleurements des gisements d'étain. Divers indices, tels que la nature et l'aspect des roches, l'abondance relative, en certains points, du mica blanc, etc., corroboraient l'idée de la présence possible de ce métal à Meymac. Enfin, circonstance péremptoire, on avait trouvé dès le début, mais sans y attacher une importance suffisante, quelques petits cristaux de cassitérite dans la roche porphyrique du puits n° 3.

De nouveaux travaux furent alors entrepris dans le but de rechercher l'étain. Ils ont été bornés jusqu'à présent à la réouverture et à l'inspection des travaux primitifs, fortement détériorés pendant les années qui s'étaient écoulées depuis leur arrêt; — à la recherche de filons dont l'existence était présumée; — au développement en direction de ces filons, les fonds dont on disposait étant

(\*) Associat. pour l'avancement des sciences. — Congrès de Lyon, 1878.

trop limités pour qu'on pût songer à entreprendre des recherches en profondeur.

La présente note a pour but la description des travaux de cette seconde période.

**Surface.** — La montagne des Gardes, au pied de laquelle les affleurements sont groupés dans un demi-cercle Est-Nord-Ouest, est formée de granite à mica noir et à feldspath blanc. Cette roche est assez tendre quand le grain de ses éléments est moyen ou petit, comme par exemple autour du puits n° 1; elle se désagrège alors facilement et se résout en arènes sableuses qui rendent difficile l'inspection du terrain. Lorsque les cristaux de feldspath y prennent un grand développement, la roche devient dure, comme auprès du puits n° 2. Il est difficile d'y distinguer une direction et un plongement; l'ensemble cependant donne l'impression d'un granite stratifié dont les bancs, orientés de l'Est à l'Ouest (\*), plongeraient vers le Sud. Fréquemment le mica blanc remplace le mica noir ou coexiste avec lui, aussi bien dans la roche tendre que dans la roche dure.

Dans ce granite affleurent des roches diverses : quartz, greisen, roches porphyriques. Des échantillons des principales variétés de ces roches ont été déposés à l'École Nationale des Mines, et figurent dans une vitrine de la *Collection des gîtes*.

Le quartz est peu abondant; sa rareté est même chose remarquable. On trouve très peu de ces morceaux de quartz isolés qui couvrent le terrain à Vaulry, à Montebbras, à la Villeder. Quatre affleurements seulement ont été découverts : aux puits n°s 1 et 4, sur le chemin d'Ussel à Contesouza, et au passage à niveau de Maubec, sur la

(\*) Toutes les orientations sont rapportées au Nord magnétique. La déclinaison à Meymac est, actuellement, en nombre rond, de 14° 30' vers l'Ouest.

ligne de Limoges à Clermont. Les deux premiers se composent de quartz blanc, laiteux, sans traces de minéraux ; leurs dimensions sont très restreintes : de 4 à 10 mètres, tant en largeur qu'en longueur. Le troisième se présente à 300 mètres à l'Est du puits n° 1, sous forme d'un filon de quartz, avec tourmaline et mica d'un jaune de bronze clair, de 0<sup>m</sup>,60 de puissance, orienté sur le Nord 70° Est ; on ne le voit que sur quelques mètres de longueur. Le dernier se trouve à 30 mètres au Sud du passage à niveau de Maubec, au fond de la tranchée profonde du chemin de fer, sous forme d'une grosse masse orientée sur le Nord 32° Est, plongeant vers l'Est, intercalée entre du greisen à son mur et le granite à mica noir à son toit. On n'y voit point de minerai ; mais l'oxyde de fer tapisse les délités du quartz, ainsi que ceux de plusieurs petits filets quartzeux, minces, orientés sur le Nord 70° Est qui affleurent dans la même tranchée à 25 mètres plus au Sud.

Les *greisen* sont beaucoup plus abondants et les micas de toutes couleurs, principalement blancs, ou verdâtres ou d'un jaune de bronze clair, y prédominent. Le quartz y est en petits morceaux d'un blanc grisâtre, translucide. On n'y trouve point de minéraux, sauf un peu de pyrite de fer, même au lavage sur pelle ; tout le flanc du coteau entre les puits n°s 3 et 4 est couvert des débris de ces roches. On ne voit le greisen en place qu'en un seul point, à 400 mètres environ, au Nord-Ouest du puits n° 1 près de la ligne du chemin de fer de Tulle à Clermont, où il forme une crête de filon, de 0<sup>m</sup>,80 de puissance, orientée, sur plusieurs mètres, de l'Est à l'Ouest, plongeant vers le Nord sous un angle de 70° environ. Le mica y est jaune bronzé et est accompagné de petits filets quartzeux avec tourmaline. Du reste, tous ces greisens sont très tendres, facilement désagrégables, ce qui explique la rareté de leurs affleurements en place.

Les *roches porphyriques* sont variées et se présentent en filons ou plus fréquemment en amas de dimensions très faibles, qui forment comme des boutonnières dans le granite.

C'est ainsi qu'on trouve au puits n° 3, à l'Ouest du hameau des Chaises, et près du village de la Grange, une roche composée essentiellement de quartz laiteux ou gris, de feldspath blanc ou rosé et de micas de diverses couleurs, surtout de mica bronzé. Elle se charge fréquemment de chlorite dont les morceaux atteignent quelquefois plusieurs centimètres de longueur. Le grain est variable, quoique généralement assez fin. La roche est dure. Elle est minéralisée de pyrite de fer, pyrite cuivreuse, blende, sulfure de bismuth, shéelite, le tout en mouches ou en petits cristaux dispersés dans la masse ; on y a même trouvé, au puits n° 3, comme on l'a déjà dit, quelques petits cristaux de cassitérite. Cette minéralisation est très irrégulière ; elle semble d'autant plus marquée que la roche est plus quartzeuse, le quartz n'étant plus alors en grains isolés, mais en petits filets discontinus. La roche se soude au granite qui ne paraît pas altéré à son voisinage, bien que quelquefois il s'y minéralise un peu, surtout de pyrite de fer. Dans les pages suivantes, on désignera cette roche du nom, plus ou moins approprié, de *granulite*, qu'elle porte à la mine.

A 40 mètres au Nord-Est du puits n° 2 affleure une autre roche porphyrique, exploitée en carrière comme matière de construction. Composée à peu près des mêmes éléments que la précédente, elle s'en distingue par sa texture beaucoup plus compacte, par sa nature beaucoup plus feldspathique, moins micacée, par son aspect et sa couleur d'un noir verdâtre en masse ou dans les cassures fraîches, devenant vert clair par exposition à l'air. Elle renferme, par places, un peu d'amphibole en écailles bronzées, mais point de minéraux métalliques, sauf de la pyrite. L'affleu-

rement mesure 25 mètres de longueur sur 4 ou 5 de largeur; sa ligne de contact avec le granite est orientée sur le Nord-Ouest. Le granite à son voisinage est très dur, presque complètement blanc, et ses joints tapissés de taches de cuivre carbonaté.

Le véritable porphyre quartzifère, à pâte de feldspath d'un blanc jaunâtre, avec petits cristaux de quartz disséminés dans la masse, se montre : 1° sous forme d'un filon puissant, orienté sur le Nord 60° Ouest, près du hameau de Lespinas, le long et au Nord du chemin de fer de Limoges à Clermont; 2° dans la tranchée de la même ligne, au passage à niveau de Maubec, où son allure est moins distincte.

Enfin, entre les puits n° 1 et 2, à 25 mètres au Nord du passage à niveau de la ligne de Tulle, on voit dans le granite à mica noir et à grands éléments un filon de roche blanche, feldspathique, à grain très fin et très dur, orienté sur le Nord 75° à 80° Ouest.

Telles sont les roches que l'étude de la surface fait facilement reconnaître à Meymac.

**Travaux.** — Les travaux sont concentrés sur le flanc Est de la Montagne des Gardes, dans un espace qui mesure 1.200 mètres de long sur 400 mètres de large (*fig. 1, Pl. I*). Les orifices des puits 1 et 3 sont à peu près au même niveau. Partant de la ligne de ces puits, le terrain s'abaisse assez brusquement vers le puits n° 4 et doucement vers le puits n° 2 (dont l'orifice est à une dizaine de mètres en contre-bas de l'orifice du puits n° 1) et vers les travaux à l'Ouest des Chaises qui sont au niveau de la vallée de la Lusège, à un peu moins de 20 mètres en contre-bas du puits n° 2. Il résulte de cette disposition et de la profondeur respective des différents puits que, d'une façon approximative, on peut considérer les travaux de ces différents points comme situés sur le même horizon.

Nulle part, ils ne sont descendus plus bas que 25 mètres à compter du jour. Ils sont, par conséquent, toujours restés dans la zone des affleurements et sous une faible charge de terrain.

**Travaux du puits n° 1.** — La *fig. 1, Pl. II*, représente le plan des travaux du puits n° 1, au niveau de la galerie d'écoulement qui est à 24 mètres au-dessous de l'orifice du puits.

Les travaux de la première période de recherches consistaient en une excavation à ciel ouvert, pratiquée sur le quartz de la découverte, en forme d'ellipse dont le grand axe était orienté Est-Ouest; — et en une grande chambre, mesurant une longueur de 16 mètres sur une largeur moyenne de 8 mètres, pratiquée au niveau 24 mètres, également en forme d'ellipse dont le grand axe était orienté sur le Nord-Est. Les travaux actuels sont partis de cette chambre souterraine.

Après bien des tâtonnements causés par la nature du terrain, ses altérations, les fentes nombreuses de toute espèce qui le découpent en tous sens, on a reconnu et suivi deux filons stannifères : l'un orienté sur le Nord 38° Est, plongeant vers l'Ouest sous un angle de 42° à 45°; l'autre orienté sur le Nord 70° Est, plongeant vers le Nord sous un angle de 64° à 68°.

**Filon Nord 38° Est.** — Ce filon a été attaqué au point A du plan. Suivi vers le Sud, il est coupé, au bout de 4 mètres, par une fente argileuse Est-Ouest. On le rechercha inutilement à main droite, du côté du plus grand angle, et on le retrouva à main gauche en un point où fut ultérieurement foncé une descenderie. On le suivit alors vers le Nord sur 10 mètres de longueur, au bout desquels on le trouva arrêté sur une fente argileuse Nord 72° Ouest, plongeant vers le Nord sous un angle de 73°. Le rejet de l'Est à l'Ouest est de 13<sup>m</sup>,50. On retrouvait

en même temps ce filon par la galerie F, plus au Sud, et on le suivait sur 14 mètres de longueur, sans cesse coupé et rejeté de quelques centimètres par des accidents divers qui ne modifient en rien ses allures :

D'abord, par une veinule de quartz, orientée sur le Nord 70° Ouest et plongeant vers le Nord sous un angle irrégulier ;

Puis, par une fente Nord 60° Ouest, de 0<sup>m</sup>,005 d'épaisseur, plongeant vers le Nord sous un angle de 73° ;

Enfin, après un joint Nord 12° à 18° Ouest, par une série de cinq coupes, Nord 60° à 70° Ouest, plongeant vers le Nord sous un angle de 73°.

Derrière la dernière de ces coupes, le filon tourne brusquement au Nord 60° Est avec pendage de 50° vers le Nord, sur 4 mètres de longueur, sans changer de nature, mais sensiblement plus riche. Il rencontre ensuite : une nouvelle fente Nord 70° Ouest, plongeant de 72° vers le Nord, qui le redresse sur 1 mètre de longueur ; — puis le filon Nord 70° Est qui le rejette de 1<sup>m</sup>,40 à main droite ; — et enfin une fente argileuse, Nord 60° Est, plongeant vers le Sud sous un angle de 65°, au-delà de laquelle il n'a pas encore été retrouvé.

De ce dernier point au point A de départ, on a reconnu ce filon sur 44 mètres de longueur. Ses caractères sont nets. Il se compose d'une petite veine de quartz blanc grisâtre, translucide, de 0<sup>m</sup>,04 à 0<sup>m</sup>,05 d'épaisseur, se divisant parfois en deux branches, accompagné de micas blancs et bruns. L'ensemble présente une épaisseur moyenne de 0<sup>m</sup>,20 à 0<sup>m</sup>,25. Il n'est séparé par aucune limite précise du granite encaissant qui est très altéré, très feldspathique, criblé de taches d'oxyde de fer. Les minéraux du filon sont variés : pyrite de fer, pyrite cuivreuse, mispickel, blende, shéelite, un peu de sulfure de bismuth et des traces constantes de cassitérite, principalement dans le mica blanc. L'étain, très finement disséminé dans la

gangue, n'est reconnaissable qu'au lavage sur pelle. Près du point A, on a trouvé quelques morceaux de stannine (sulfure d'étain, cuivre, fer et zinc).

Un renflement particulièrement riche a été rencontré à 3 mètres au Nord-Est de la descenderie : il a fourni plusieurs centaines de kilogrammes de minerai rendant 35 p. 100 de minerais complexes sulfurés avec bonne trace d'étain et 5 p. 100 de shéelite en cristaux. Le filon s'est d'abord élargi graduellement sur 1<sup>m</sup>,20 de longueur, et a atteint 0<sup>m</sup>,60 d'épaisseur ; étranglé par un banc de granite Nord 75° Est plongeant au Nord sous un angle de 53°, — à 1 mètre plus loin, le filon s'est de nouveau élargi jusqu'à 1 mètre de puissance, puis s'est brusquement interrompu sur la fente argileuse Nord 72° Ouest, plongeant vers le Nord sous un angle de 73°, déjà signalée ; — au delà, il existe encore quelques petits filets de quartz, avec un peu de mica bronzé, mais stériles, qui s'arrêtent tous sur une fente argileuse Nord 65° Est presque verticale.

Une descenderie a été poussée à 8<sup>m</sup>,20 suivant la pente du filon ; il y est régulier avec les mêmes caractères et la même nature de remplissage, le pendage tendant à se raidir. Au fond, deux coupes argileuses, l'une Nord 60° Est plongeant vers le Sud sous un angle de 45°, l'autre Nord-Sud plongeant vers l'Est sous un angle de 70°, le serrent sans le déranger ; près de la dernière, il présente une épaisseur de 0<sup>m</sup>,05 de mispickel massif.

Toute la partie du filon ci-dessus décrite se trouve au Sud du puits n° 1. On en a cherché le prolongement au Nord, et après plusieurs tentatives infructueuses (galeries A et D), on l'a retrouvé dans la galerie E, avec les mêmes direction, pendage et remplissage, jusqu'à la rencontre d'une veine argileuse Nord 16° Est, plongeant vers l'Est, qui le rejette de 3 mètres de haut en bas. Derrière cet accident, le filon s'oriente sur le Nord 37° Est et plonge sous un angle de 55° ; il présente 0<sup>m</sup>,02 de quartz, encaissé

de greisen sur 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur, le tout bien minéralisé de pyrites, mispickel, shéelite. A 10<sup>m</sup>,50 plus au Nord, il est très déchiqueté par des fissures glaiseuses dirigées en tous sens dans le granite, puis est coupé par une veine de feldspath rose, de 0<sup>m</sup>,10 d'épaisseur, orientée sur le Nord 80° Ouest, plongeant au Nord sous un angle de 70°, et contenant une bonne trace de minerai. Sa direction s'incline alors sur le Nord 35° Est pendant 8<sup>m</sup>,50; il devient stérile, et, dans ce trajet, coupe et rejette légèrement, mais très nettement, à la couronne de la galerie, une veine de quartz, de 0<sup>m</sup>,05 de puissance, orientée sur le Nord 80° Ouest comme la veine de feldspath rose, plongeant comme elle et sous le même angle vers le Nord. C'est la seule fois où, sur l'étendue de près de 80 mètres reconnue en direction, ce filon rejette une des veines qu'il rencontre; il est coupé et rejeté par toutes les autres. Les travaux ultérieurs montreront si ce lambeau Nord 35° Est appartient bien réellement au filon Nord 38° Est.

*Filon Nord 70° Est.* — Comme on l'a vu ci-dessus, ce filon a été reconnu dans la région au Sud du puits par la galerie qui suivait le filon Nord 38° Est. Au point de rencontre, il est orienté sur le Nord 74° Est. Son extension vers l'Ouest a été constatée dans deux recoupes où il semble affecter la direction Nord 68° Est. Vers l'Est, on l'a suivi en direction sur 9 mètres de longueur et on l'a recoupé, à 12 mètres plus à l'Est, par la galerie F. Dans cette zone est, il est orienté sur le Nord 70° Est et plonge régulièrement vers le Nord, sous un angle de 68°. Comme c'est également dans cette zone Est qu'il est le mieux minéralisé, on a adopté, pour le désigner, la direction qu'il y présente.

De l'Est à l'Ouest son existence est reconnue sur une longueur de 45 mètres. — Son remplissage est composé d'un quartz blanc grisâtre, translucide, très mince jusqu'à

présent (0<sup>m</sup>,04 à 0<sup>m</sup>,05) (\*), mais très net et régulier, moucheté de pyrite de fer et de pyrite cuivreuse, de molybdène sulfuré, avec bonne trace de cassitérite. Ce dernier minéral n'est reconnaissable qu'au lavage sur pelle, comme dans le minerai du filon Nord 38° Est. Mais, à l'encontre de ce que l'on voit dans ce dernier, le mica fait complètement défaut. — Le filon est encaissé dans un beau granite à mica noir, à grains de dimensions moyennes et assez tendre.

Dans la partie ouverte de ce filon, on le voit coupant et rejetant la veine Nord 38° Est, et, à son tour, coupé et rejeté par deux veines argileuses orientées sur le Nord 20° Est, — par une coupe Nord 70° Ouest, — et à l'extrémité de la galerie F par une petite veine de quartz Nord 10° Est, accompagnée de pyrite et de mica jaune bronzé. L'eau sort abondamment de cette dernière veine.

*Autres systèmes de fractures.* — Outre ces deux filons, les travaux du puits n° 1 ont mis en évidence un grand nombre de cassures et de veines, quartzieuses ou argileuses, qui ne présentent pas un intérêt immédiat, puisqu'on n'y trouve pas de minéraux utiles, mais dont il est cependant important de constater les allures, en prévision de l'influence qu'elles pourront exercer sur les deux filons précédents et comme témoins des actions subies par le terrain. On peut les répartir, pour la commodité de la lecture, en deux groupes : l'un Nord-Sud, renfermant toutes les fractures orientées sur des directions comprises entre le Nord 45° Est et le Nord 45° Ouest; — l'autre Est-Ouest,

(\*) Si le terme de filon, appliqué à une veinule si mince, peut paraître ambitieux, il ne faut pas oublier qu'on le décrit ici à une très faible profondeur. A Montebrias, plusieurs filons Est-Ouest n'apparaissent qu'à 25 ou 30 mètres du jour. A la Villeder, j'ai vu un filon de feldspath Est-Ouest qui, à 75 mètres de profondeur, mesurait 2 mètres de puissance et qui n'apparaissait qu'à 40 mètres de profondeur, sous forme d'un simple filet blanchâtre, dans le granite sableux jamaître.

renfermant toutes les fractures orientées sur des directions comprises entre l'Est-Ouest et le Nord 45° Ouest ou le Nord 45° Est. — Le second groupe est de beaucoup celui qui compte le plus grand nombre de représentants, et c'est même un fait remarquable que la rareté relative des fractures Nord-Sud à Meymac, tandis que, dans toutes les localités, où l'on a reconnu ou recherché l'étain en France, la prédominance des filons Nord-Sud est très caractérisée, tout au moins aux affleurements. A Meymac, on rencontre plus de trois fractures Est-Ouest pour une Nord-Sud.

Dans le groupe Nord-Sud, on signalera (galeries G et F) une veine Nord 30° à 35° Est, puissante de 0<sup>m</sup>,20, plongeant vers l'Ouest sous un angle de 50°. Elle est composée de deux petits filets de quartz, de 0<sup>m</sup>,01 à 0<sup>m</sup>,02 chacun, renfermant dans leur intervalle du mica jaune bronzé et de la pyrite de fer. — Dans la galerie G elle est coupée et rejetée horizontalement sur 5 mètres de longueur par une fente argileuse chargée de pyrite de fer, et accompagnée, sur sa paroi Nord, de distance en distance par des lambeaux isolés de quartz avec mica. Cette argile est orientée sur le Nord 80° Est et presque verticale. Au Sud et à 2<sup>m</sup>,40 de cette fente argileuse, la veine Nord 30-35° Est rencontre une crevasse Nord 75° Ouest, verticale, renfermant beaucoup de pyrite et de mica blanc, passablement quartzeuse, dont l'effet est d'arrêter complètement un des filets quartzeux et le remplissage de mica jaune bronzé, le second filet quartzeux continuant sans interruption.

A cette même direction Nord 30-35° Est se rattachent, dans leur ensemble, de nombreuses petites veinules de quartz et de mica jaune-bronze, rencontrées dans les galeries A et D, présentant par intervalles des noyaux pyriteux, quelques boules de mica blanc avec trace d'étain, mais sans suite et sans allures définies.

Dans le groupe Est-Ouest, la fréquence des fractures orientées au Nord de l'Ouest est très nettement accusée.

A l'extrémité Sud des travaux, la recherche du filon Nord 38° Est a conduit sur un filon de la roche dite granulite, signalée aux affleurements du puits n° 3 et à l'Ouest des Chaises. Ce filon, orienté Nord 65° Ouest et plongeant vers le Nord sous un angle de 68°, mesure 0<sup>m</sup>,70 d'épaisseur. Il est nettement encaissé dans le granite. Parsemé de taches d'oxyde de fer, il ne renferme pas de minerai. La roche est dure. — Sur un parcours de 22 mètres : il coupe et rejette le filon Nord 70° Est et une veinule Nord 20° Est de quartz et mica bronzé ; — il est traversé par un filet de greisen, de 0<sup>m</sup>,04 d'épaisseur Nord 40° Est, sans modification d'allures de part ni d'autre ; — il est coupé et rejeté à main gauche : de 4 mètres, par une fente argileuse Nord 60° Est, plongeant vers le Sud sous un angle de 65°, et de 1<sup>m</sup>,10 par une autre fente argileuse Nord 35 à 40° Est. A l'Est de ce dernier accident son orientation incline vers l'Est-Ouest ; il devient très friable. — Il est probable que ce filon de granulite est la cause des nombreuses coupes Nord 60°-70° Ouest qui affectent l'allure du filon Nord 38° Est dans cette région.

Dans la galerie F on a suivi une petite veine de quartz blanc laiteux qui, sur 8 mètres de longueur à l'Ouest du filon Nord 38° Est, est orientée sur le Nord 72° à 75° Ouest et plonge vers le Nord sous un angle indistinct. Le quartz est stérile et mince, sauf en un point où se forme une lentille de 0<sup>m</sup>,30 de puissance, composée de tourmaline, pyrite de fer, mispickel, molybdène sulfuré, shéelite. Il coupe et rejette de 0<sup>m</sup>,40 à main gauche le filon Nord 38° Est, en y formant un joli petit amas de minerai. A l'Est du rejet, ce quartz continue, mais stérile et de faible épaisseur, dans un granite très dur, à gros cristaux de feldspath. Il disparaît au pied de la galerie après avoir

coupé et rejeté de 0<sup>m</sup>,10 à main gauche une veinule de greisen de 0<sup>m</sup>,02 d'épaisseur.

Dans la galerie G on a suivi, sur 9 mètres de longueur à partir de la grande chambre souterraine, une veine de quartz blanc, qui, d'abord très déchiquetée, a pris, sur 6 mètres de longueur, une allure plus régulière et s'oriente sur le Nord 75° Ouest, presque verticale, puissante de 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,40. Le quartz est accompagné de distance en distance par des rognons de micas blanc et jaune bronzé, avec pyrite de fer et blende. Il est coupé par une fente argileuse Nord 25° Est, plongeant à l'Ouest sous un angle de 65°, au-delà de laquelle on a retrouvé soit des rognons isolés de quartz avec mica, soit des veines de granite très quartzueux, à feldspath rose avec micas blanc et bronzé et pyrite de fer, et orientées sur le Nord 75° Ouest, mais qu'il est difficile d'identifier avec la veine de quartz primitivement suivie.

Enfin, dans la galerie E, on a recoupé les veines de feldspath rose et de quartz, Nord 80° Ouest, déjà signalées à propos du filon Nord 38° Est.

Avant de terminer ce qui concerne les travaux du puits n° 1, il convient de remarquer deux faits :

1° La galerie d'écoulement n'a recoupé sur son parcours que des petites veinules de quartz avec tourmaline, très confuses comme allures et orientation, — et une puissante faille d'argile très pyriteuse, Nord 25° Est, plongeant vers l'Est sous un angle très raide, argile qui a été retrouvée, avec les mêmes caractères, plus au Sud, dans la partie occidentale de la galerie B, où l'on recherchait à main droite la suite du filon Nord 38° Est ;

2° Cette même recherche de la suite du filon Nord 38° Est a fait traverser une zone remarquable de granite tendre à feldspaths rose et verdâtre, parsemé de taches d'oxyde

de fer, avec mouches de molybdène sulfuré. Cette zone commence brusquement derrière la veine argileuse Est-Ouest qui coupe et rejette le filon Nord 38° Est, à 4 mètres au Sud du point d'attaque A. Du Nord au Sud, elle présente à peu près 12 mètres de largeur et se termine près de la galerie F, le granite tendre passant insensiblement au granite du pays, dur, à mica noir. De l'Est, à partir de la descenderie, vers l'Ouest, elle mesure environ 18 mètres de longueur. — Dans ce granite, outre de nombreux filets argileux, court une petite veine de feldspath rose, quartz gris, tourmaline, pyrite de fer et molybdène sulfuré, orientée sur le Nord 60° Est et plongeant au Nord sous un angle de 50°. Sa puissance, qui était de 0<sup>m</sup>,15 au point où elle a été rencontrée, s'amincit considérablement, vers l'Ouest, après la rencontre d'un filet d'argile irrégulier et finit par se perdre dans le pied de la galerie, réduite à une simple trace dans la roche granitique.

TRAVAUX DU Puits n° 2. — Ces travaux (*fig. 3, Pl. III*), moins avancés que ceux du puits n° 1, ont rencontré l'étain dans des conditions de gisement très différentes. La cassitérite s'y trouve dans une roche feldspathique, d'un noir bleuâtre, devenant grise par exposition à l'air, compacte, très dure, à joints tapissés de spath-fluor. Elle ressemble beaucoup à certaines roches qui forment les déblais des mines d'étain du Cornwall et particulièrement de la mine bien connue de Tincroft. Par places, elle se charge de mica brun, de quartz en grains ou en filets, de pyrite cuivreuse, pyrite de fer, blende, et rend en moyenne 6 p. 100 de ces minéraux au lavage sur pelle. — 80 p. 100 de ces lavages ont donné de la cassitérite en proportions variables qui s'est élevée jusqu'à 5 p. 100 quand la roche essayée était traversée par des filets de quartz blanc. Le minerai d'étain n'est visible que sur la pelle ; il est très fin.

La roche porphyrique, qui n'affleure pas au jour, a été trouvée à 10 mètres au Sud du puits et à 21 mètres de profondeur, formant une boutonnière de  $6 \times 8$  mètres dans le granite dur à grands cristaux de feldspath. Aucun joint ne sépare les deux roches, qui sont comme soudées l'une à l'autre.

Le porphyre est traversé : 1° par une fente argileuse, irrégulière, de 0<sup>m</sup>,05 à 0<sup>m</sup>,09 d'épaisseur, orientée pendant une dizaine de mètres sur le Nord 10° Est et plongeant vers l'Est. Cette argile est accompagnée, à son toit, d'une petite veine de quartz blanc avec cristaux de pyrite de fer qui s'en sépare vers le Nord pour mourir en pointe dans le porphyre. Au toit de l'argile, la roche porphyrique est tendre, presque broyée, sur 0<sup>m</sup>,70 d'épaisseur ; elle est parsemée de petits filets quartzeux avec traces de pyrite de fer et de blende ; — 2° par une petite veine de quartz stérile Nord 80° Ouest, plongeant au Nord sous un angle peu distinct, épaisse de 0<sup>m</sup>,04, qui traverse le porphyre et le granite, sans accident à leur contact et s'arrête sur l'argile Nord 10° Est.

Une petite descenderie, foncée dans la roche porphyrique, a traversé à 1 mètre de profondeur et suivi jusqu'à 5 mètres, sa profondeur actuelle, une veine de 0<sup>m</sup>,12 à 0<sup>m</sup>,15 de puissance, dont 0<sup>m</sup>,10 de greisen très micacé et 0<sup>m</sup>,02 à 0<sup>m</sup>,04 de quartz grisâtre, orientée sur le Nord 65° Ouest et plongeant vers le Sud sous un angle de 58°. Cette petite veine est richement imprégnée de pyrite cuivreuse, blende, mispickel et cassitérite, comme d'ailleurs le porphyre qui l'encaisse. Celui-ci est découpé en bancs qui courent et plongent comme la veine quartzéuse ; il renferme des noyaux de granite. L'eau est assez abondante dans la descenderie.

Cette même veine de quartz a été retrouvée au niveau de 21 mètres, au Sud et en dehors du porphyre, et suivie sur 6 mètres de longueur dans le granite dur où elle

est moins régulière et moins riche ; elle n'a plus que 0<sup>m</sup>,07 d'épaisseur, dont 0<sup>m</sup>,01 de quartz et 0<sup>m</sup>,06 de greisen. Cependant elle rend encore de 10 à 11 p. 100 de minerai, et elle est accompagnée de petites lentilles de quartz sans suite et stériles.

En dehors de ce porphyre, une galerie Sud-Est a retrouvé des traces d'étain dans d'autres fractures du sol, principalement orientées au Nord de l'Ouest. Dans cette galerie, le granite à mica noir, à gros éléments et dur, change derrière une coupe de terrain Nord 33° Est, à 10<sup>m</sup>,30 du puits ; il devient très feldspathique, verdâtre, avec petits nids de mica blanc, qui donnent des traces d'étain et de pyrite cuivreuse, sur 1<sup>m</sup>,60. Puis, derrière une nouvelle coupe de même direction, Nord 32° Est, il reprend sa dureté et sa texture à gros éléments et présente trois bancs de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur chacun, formés par des coupes orientées sur le :

Nord 56° Ouest, plongeant au Sud sous un angle de 85°			
Nord 67° Ouest,	—	Nord	— 80°
Nord 77° Ouest,	—	Nord	— 80°.

Le long de ces coupes, et principalement de la première, le granite est ferrugineux, imprégné de mica blanc avec pyrite de fer et cassitérite, tacheté de cuivre carbonaté. Au pied de la galerie, un petit amas, de 0<sup>m</sup>,05 d'épaisseur, a rendu 3 p. 100 de cassitérite. Malgré la rencontre d'une veine d'argile avec mica blanc, de 0<sup>m</sup>,10 d'épaisseur, orientée sur le Nord 33° Est, ces mêmes allures continuent jusqu'à 23 mètres du puits (c'est-à-dire sur 11<sup>m</sup>,50), où derrière une veine d'argile très plate, Nord 70° Est, la minéralisation diminue. Les joints de granite, très durs, sont toujours orientés sur l'Est-Ouest, principalement sur le Nord 70° Ouest, mais un seul, sur la paroi Sud, est minéralisé et faiblement.

Au sud de la roche porphyrique, on a exploré la veine Nord 10° Est, qui est assez irrégulière comme allure et très variable comme remplissage (\*). Elle plonge constamment à l'Est sous des angles faibles. En général mince et argileuse, elle s'épanouit par passages en petites lentilles, composées de mica blanc et de quartz grisâtre, très friables, minéralisées, mais sans suite. Le mica blanc annonce toujours le minerai. Les deux amas les plus notables ont été rencontrés respectivement à 7 mètres et à 30 mètres du puits. Le premier avait 1<sup>m</sup>,50 de longueur; la roche granitique encaissante était elle-même imprégnée de minerai sur 0<sup>m</sup>,80 de largeur. La masse a rendu 12 p. 100 de minerai : pyrite cuivreuse, mispickel, cassitérite. Le second était formé de plusieurs petits amas distincts, dont l'ensemble a produit plus de 200 kilogrammes de minerai dans lequel dominait la pyrite cuivreuse.

Le granite qui encaisse la veine varie constamment. Tantôt il est jaune verdâtre ou à feldspath rose et alors assez tendre. Tantôt il est à gros éléments et dur, et dans ce cas il renferme souvent des mouches de pyrite cuivreuse au voisinage de la veine.

TRAVAUX DU PUIT N° 3 ET A L'OUEST DES CHAISES. — Ces travaux ont porté sur la granulite et dans les deux cas ont montré une roche à minerai, complètement enclavée dans le granite, et dont on n'est pas encore parvenu à suivre le développement en direction.

*Puits n° 3.* — Sur ce point (*fig. 2 et 3, Pl. I*) on n'a fait que rouvrir et rafraîchir les travaux de la première période de recherches, qui consistent en un puits de 20<sup>m</sup>,80 de

(\*) On sait que les filons de Cieux et de Vaulry, dans la Haute-Vienne, sont principalement orientés sur cette direction.

profondeur et deux galeries, ouvertes : l'une au Nord-Est du puits, à 14<sup>m</sup>,60 de profondeur; l'autre au Sud à 18<sup>m</sup>,30. — Dans la première, la granulite est stérile, traversée par une veine d'argile qui longe son contact avec le granite, orientée sur le Nord 70° Est et plongeant au Nord. — La seconde a suivi le contact des deux roches qui tournent de la direction du Nord-Sud à une direction à peu près Nord 70° Est avec plongement vers le Nord. La granulite est, par places, très richement minéralisée de pyrite et de mispickel, avec un peu de sulfure de bismuth et traces d'étain. Le granite lui-même renferme les mêmes minéraux, mais moins abondamment, au contact de la granulite et au Sud d'une petite veine quartzreuse Nord 85° Est, plongeant vers le Nord, qui traverse sans dérangement la ligne de contact du granite et de la granulite; au Nord de cette petite veine il est stérile. — Un travers-bancs, venu du jour, a recoupé l'argile Nord 70° Est de la première galerie, sans trouver le prolongement vers l'Ouest de la granulite.

*Ouest des Chaises.* — A l'Ouest du hameau des Chaises (*fig. 2, Pl. III*), l'affleurement de granulite apparaît sur une quinzaine de mètres, dans une direction générale Est-Ouest; la roche est mélangée de quartz blanc en noyaux, quelquefois assez volumineux, et en petits filets, — et mouchetée de pyrite plus ou moins oxydée. Le contact avec le granite est confus. — La masse a été recoupée par un travers-bancs amorcé à 30 mètres au Nord-Ouest et à 12 mètres en contre-bas de l'affleurement. La *fig. 4* représente le plan des travaux à ce niveau. — La granulite est bornée : au Nord, par une ligne de contact orientée à peu près sur le Nord 78° Ouest et plongeant vers le Sud; — à l'Ouest et au Sud, par une ligne contournée, irrégulière; — à l'Est, par un mur granitique, orienté sur le Nord 34° Est et plongeant vers l'Ouest sous

un angle de 45°. L'eau est abondante le long de ce mur.

La granulite est minéralisée sur trois points, séparés par des intervalles stériles. Du Nord au Sud, sur 3 mètres de longueur après avoir quitté le contact granitique, on y trouve une proportion assez forte de pyrite, mélangée de blende. Après un intervalle de 6 mètres stériles, la roche durcit, et il s'y forme, sur 2<sup>m</sup>,50 de longueur, des bancs orientés sur le Nord 25° Ouest, avec plongement vers l'Ouest, qui renferment les mêmes minéraux et, en plus, de la pyrite cuivreuse et de la shéelite, sur 0<sup>m</sup>,70 d'épaisseur. Le minerai et les bancs s'arrêtent sur une petite veine de quartz Est-Ouest, plongeant vers le Nord, épaisse de 0<sup>m</sup>,04. Au delà, la granulite devient plus tendre, se charge de chlorite et reste stérile, sauf au voisinage d'une crevasse Nord 60° Est, avec plongement vers le Nord, large de 0<sup>m</sup>,03 où l'on trouve de jolis cristaux de shéelite.

La veine Est-Ouest, suivie en galerie, s'arrête à l'Ouest sur un filon de quartz stérile Nord 45° Ouest, plongeant vers le Sud. — Du côté de l'Est, elle est rejetée de 0<sup>m</sup>,50 à main droite par un quartz stérile orienté sur le Nord 5° Ouest et plongeant vers l'Est sous un angle de 40°; — et à main droite, puis à main gauche par deux coupes Nord-Sud, distantes de 2 mètres. Sur tout son parcours, de 18 mètres, cette veine est assez joliment minéralisée, surtout en shéelite. La granulite qui l'encaisse l'est elle-même et tout autant; elle est découpée en petits bancs, de faible épaisseur et de dureté variable; les plus durs et les plus épais sont les plus riches, surtout au pied de la galerie. — Le rendement en minerai pyriteux et shéelite varie de 7 à 10 p. 100 au lavage sur pelle. On n'a point trouvé d'étain.

PUITS N° 4. — Le puits n° 4 a été foncé sur un affleurement de quartz blanc, en tout semblable au quartz de la découverte originelle, paraissant orienté du Sud au Nord

et complètement stérile. Il a découvert le minerai, surtout blende et pyrite avec quelques taches de bismuth oxydé, à 1 mètre de profondeur. La *fig. 1*, Pl. III, représente le travail à la profondeur actuelle de 6 mètres. Le quartz paraît complètement enclavé dans le granite; il est limité: au Nord et au Sud, par deux coupes Nord 50 à 60° Ouest, plongeant vers le Nord sous des angles de 68° et de 79°; à l'Est et à l'Ouest, par deux autres coupes, orientées respectivement sur le Nord-Sud avec plongement de 75° vers l'Ouest, et sur le Nord 10 à 15° Est avec plongement, dans le même sens, de 56°. De la coupe occidentale se détache une petite veine de greisen à mica jaune bronzé, épaisse de 0<sup>m</sup>,08 à 0<sup>m</sup>,12, orientée sur le Nord 25° Ouest, et plongeant sous un angle de 65°; on n'y a point trouvé de minerai.

Résumé. — Cette description des recherches de Meymac montre, que, sans avoir encore révélé un gîte exploitable, elles n'en ont pas moins atteint leur but immédiat, puisqu'elles ont découvert le minerai d'étain dans trois gisements de nature bien distincte: en filons quartzeux et micacés ou simplement quartzeux, au puits n° 1; dans la granulite du puits n° 3; dans la roche porphyrique du puits n° 2 et le quartz qui commence à s'y dessiner. La présence de la shéelite dans la granulite à l'Ouest des Chaises, et l'identité de cette roche avec celle du puits n° 3 donnent à penser qu'on trouvera aussi l'étain sur le premier de ces deux points.

De plus, ces recherches ont établi une base solide pour les travaux ultérieurs, nécessaires pour décider si l'un ou l'autre de ces gisements persistera en profondeur et en direction, et prendra un développement qui justifie une exploitation. Car, au milieu d'un réseau très complexe de fentes dont la majeure partie est évidemment superficielle, elles mettent déjà en évidence les fractures fonda-

mentales qui ont présidé à l'origine de ces gisements. Elles permettent d'entrevoir (*fig. 1, Pl. I*), d'une part, une liaison possible entre les divers points d'attaque; entre les gisements des puits n<sup>os</sup> 1 et 2 par quelque-une de ces fractures orientées sur le Nord 60 à 75° Ouest; entre ceux des puits n<sup>os</sup> 1 et 3 par quelque autre fracture orientée sur le Nord 30 à 40° Est, — et, d'autre part, une extension du filon Nord 70° Est du puits n<sup>o</sup> 1 vers l'affleurement découvert, plus à l'Est dans la même direction, sur le chemin de Meymac à Contesouza.

A ce point de vue et à titre d'indication, je crois intéressant de donner ici le tableau des orientations des douze premiers systèmes de montagnes, transportées au point dont les coordonnées géographiques sont :

(a) }	Longitude Ouest.....	0° 11' 0",00
	Longitude Nord.....	45° 32' 0",00

Ce point est situé tout près et un peu à l'Ouest de la ville de Meymac. Un des principaux motifs qui l'ont fait choisir pour centre de la rose des directions, au lieu d'un des points de croisement des grands cercles du réseau pentagonal qui sont nombreux autour de Meymac, est son voisinage d'un point remarquable de la région signalé par Élie de Beaumont. Cet illustre géologue a fait remarquer que « les granites du Limousin forment au milieu des « gneiss des bandes assez irrégulières qui cependant ont « une tendance marquée à se rapprocher de la direction « Nord 26° Est (\*). La formation de ces bandes paraît « trait ancienne. Le point central de la région où on les « observe se trouve à peu près par 46° de latitude Nord « 0° 40' de longitude Ouest. »

Voici le tableau des directions des douze premiers systèmes de montagnes transportées au point (a) :

(\*) Cette direction vraie Nord 26° Est correspond à la direction magnétique actuelle Nord 40° 1/2 Est.

	DIRECTION VRAIE	DIRECTION MAGNÉTIQUE	
		du	de la
		système	perpendiculaire
Vendée.....	N. 20° 11' O.	N. 5° 34' O.	N. 84° 26' E.
Finistère.....	N. 71° 56' E.	N. 86° 26' E.	N. 3° 34' O.
Longmynd.....	N. 26° 0' E.	N. 40° 37' E.	N. 49° 23' O.
Morbihan.....	N. 47° 37' O.	N. 33° 0' O.	N. 57° 0' E.
Westmoreland.....	N. 55° 28' E.	N. 70° 5' E.	N. 19° 55' O.
Land's End.....	N. 87° 46' E.	N. 77° 37' O.	N. 12° 23' E.
Ballons.....	N. 78° 33' O.	N. 63° 56' O.	N. 26° 4' E.
Forez.....	N. 17° 4' O.	N. 2° 27' O.	N. 87° 33' E.
Nord de l'Angleterre.....	N. 6° 1' O.	N. 8° 36' E.	N. 84° 24' O.
Pays-Bas.....	N. 81° 8' E.	N. 84° 15' O.	N. 5° 45' E.
Rhin.....	N. 16° 22' E.	N. 30° 59' E.	N. 59° 1' O.
Thuringerwald.....	N. 56° 45' O.	N. 42° 15' O.	N. 47° 65' E.

Sans entrer dans le détail de rapprochements qui ne seraient appuyés que sur des bases trop restreintes, on remarquera que l'écart est faible ou même nul, entre les directions de quelques-uns de ces systèmes de montagne et celle de certaines des fractures du sol observées dans les travaux, par exemple : entre le Longmynd et le filon Nord 38° Est, entre le Westmoreland et le filon Nord 70° Est, entre les Ballons et les nombreux alignements Nord 60 à 65° Ouest, entre le Rhin et les failles ou veines Nord 30 à 35° Est. Il est à remarquer que les âges respectifs des diverses fractures citées, déduits des rejets qu'elles subissent à leurs croisements, sont précisément les mêmes que ceux qui ont été assignés par M. Élie de Beaumont aux systèmes de montagnes auxquels elles sont comparables comme direction. On ne sera point surpris d'ailleurs que l'empreinte de ces systèmes de montagnes soit marquée sur le sol de Meymac, si l'on songe que le grand cercle de comparaison du Longmynd passe entre Neuvic et Bort, celui de Westmoreland au Sud de Limoges, c'est-à-dire à une faible distance au Sud-Est et au Nord

de Meymac, et que la bande de terrains houillers en lambeaux, qui s'étend de Decize, dans la Nièvre, à Pleaux, dans le Cantal, et qui a servi à la définition du système du Rhin, est située très près et à l'Est de Meymac. Quant au système des Ballons (\*), son grand cercle de compa-

(\*) C'est également au système des Ballons que paraissent dues les fractures primitives de l'intéressant gîte de la Prugne (Allier). Ce gîte est constitué par des filons de pyrite cuivreuse non argentifère, orientés sur le Nord 75° Ouest (direction vraie), qui sont découpés par des filons d'argiles avec galène, orientés sur le Nord 25 à 40° Ouest. Aux points de croisement des deux systèmes de fentes, surtout des Nord 75° Ouest avec les Nord 25° Ouest, les filons de pyrite se chargent de philipsite argentifère, principal minerai exploité, dont on a extrait du cuivre et de l'argent pour une valeur de près de un million de francs, par des travaux d'une superficie maxima de  $300 \times 150$  mètres et d'une profondeur qui n'a pas dépassé 50 mètres.

On retrouve les deux mêmes directions : la première, dans des filons de porphyre jaunâtre; la seconde, dans des porphyres rouges quartzifères qui coupent les précédents.

En rapportant à la Prugne les directions des systèmes de montagnes, on trouve que, en directions vraies :

Le système des Ballons y est orienté sur le Nord 74° 1/2 Ouest.			
—	Mont Viso	—	Nord 25° 1/4 —
—	Pyrénées	—	Nord 72° 1/2 —
—	Mont Serrat	—	Nord 40° 3/4 —

Vraisemblablement, la pyrite cuivreuse non argentifère a été déposée dans des fentes dues au système des Ballons, et la philipsite s'y est introduite à son tour, grâce à des réouvertures dues au système des Pyrénées, après l'action favorable de fentes provenant du système du mont Viso qui, en découpant le terrain, ont facilité la chute du toit des Est-Ouest primitifs.

Si l'on cite ici ce gisement de la Prugne, c'est parce que, en outre du cuivre et de l'argent, on y a trouvé de l'étain en proportion telle que les exploitants n'eussent pas dû négliger de le rechercher. Le cuivre et l'argent ont été exploités dans des schistes qui occupent le fond d'une selle granitique, sur une épaisseur qui, certainement, n'est pas considérable. Il se pourrait fort bien que les travaux, après avoir franchi cette zone schisteuse et pénétré dans le granite, rencontrassent l'étain comme minerai prédominant. Des faits, assez topiques, portent à croire qu'il existe à la Prugne des filons orientés à l'Est du Nord et, entre autres, on signalera des filons de porphyre granitoïde orientés, en moyenne, sur le Nord 29° Est, qui, au voisinage de la mine, traversent le granite sans pénétrer dans les schistes. La direction du système du Longmynd rapportée à la Prugne, est orientée sur le Nord 27° 1/4 Est.

raison est beaucoup plus éloigné; mais l'on sait que son action s'est fait sentir sur une zone particulièrement large, et qu'il est représenté d'une manière manifeste dans le terrain houiller du Gard, par exemple, bien plus éloigné que Meymac de son grand cercle de comparaison.

## SATURATION HYGROMÉTRIQUE

## DE L'ÉCORCE DU GLOBE

DÉTERMINATION DE L'EAU DE CARRIÈRE,  
DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE DES ROCHES IMBIBÉES D'EAU

Par M. O. KELLER, Inspecteur général des mines.

## Introduction.

**Ubiquité de l'eau; ses divers états.** — L'eau occupe une place considérable à la surface de la terre. On l'y trouve, en général, à l'état visible, soit qu'étant liquide elle constitue les mers, les fleuves, rivières, lacs ou étangs, les sources, la pluie, soit qu'étant solide elle forme la glace, la neige, la grêle. Dans l'atmosphère on l'aperçoit aussi lorsqu'elle s'y concentre en vésicules, dont la semi-transparence donne, en quelque sorte, un corps aux nuages, aux brouillards, à la vapeur d'eau.

L'eau existe également, mais à l'état invisible, dans un très grand nombre de substances, à l'état de combinaison chimique : on la désigne alors sous le nom d'*eau de constitution*.

Enfin elle présente encore un caractère tout différent, quand elle détermine l'humidité. Dans cet état particulier on l'appelle *eau hygrométrique*, parce qu'elle est décelée par les hygromètres, dès que l'air en est imprégné.

Les corps solides deviennent aussi humides ou hygrométriques, lorsque l'eau pénètre dans leurs pores.

Dans les deux cas l'eau est généralement invisible,

comme l'eau combinée. Elle diffère cependant de cette dernière, au point de vue physique, en ce qu'elle se discerne souvent à l'aide du toucher : elle modifie en effet la conductibilité des corps pour la chaleur, et c'est pourquoi les objets humides, les pierres en particulier, font éprouver aux personnes qui les manient une sensation de froid.

**Définition de l'eau de carrière; sa présence dans les roches.** — L'eau renfermée dans les pores des roches peut être appelée indifféremment *eau hygrométrique*, *eau d'imprégnation*, *d'imbibition*, ou bien de *capillarité*.

Delesse, qui en a fait une étude spéciale, définit simplement l'eau de carrière comme il suit :

« On appelle *eau de carrière* celle que les roches contiennent lorsqu'elles sont dans l'intérieur de la terre (\*). »

Cette eau n'a donné lieu jusqu'à présent qu'à un très petit nombre de recherches expérimentales. Les géologues se sont généralement bornés à constater sa présence, et n'en ont fait mention dans leurs ouvrages que d'une façon incidente. Cependant et depuis longtemps, l'un d'eux, le professeur Bischof, a porté son attention sur la pénétrabilité des roches par l'eau et a signalé le basalte comme s'imprégnant d'humidité au point d'être impropre à la construction des habitations.

Daubrée est un de ceux qui se sont le plus nettement expliqués à ce sujet, tout en restant dans le domaine des généralités.

Dans son grand et bel ouvrage *les Eaux souterraines à l'époque actuelle*, il s'est exprimé ainsi :

« Toutes les roches, même celles qui sont le plus compactes, sont imprégnées d'une certaine quantité d'eau.

(\*) *Extraits de géologie*, par MM. DELESSE et LANGEL (*Annales des Mines*, 3<sup>e</sup> livr. de 1862)

Les ouvriers des carrières savent que les caractères physiques des pierres les plus diverses se modifient par l'exposition à l'air. Ce changement qui se constate clairement sur les roches argileuses, calcaires et gréseuses, est aussi très appréciable pour les roches plus compactes, telles que le granite. Il paraît s'expliquer par la perte d'une certaine quantité d'eau, logée d'abord dans les pores de la roche et qui a disparu. On donne à cette eau le nom d'eau de carrière ou d'imprégnation. Le délitement, à la suite de la gelée, des pierres de construction appelées gélives, est le résultat de l'eau qui y était interposée. Dolomieu avait signalé des faits de ce genre dans son *Mémoire sur l'art de tailler les pierres à fusil*. »

Dans sa *Géologie expérimentale*, le même savant, après avoir mentionné l'eau de constitution de certaines roches, par exemple des argiles, a écrit :

« Quant aux roches qui ne renferment pas d'eau de constitution, aucune n'est dépourvue d'une certaine quantité d'eau dite de carrière.

On ne comprendrait pas que cette eau fût logée autrement que dans les pores de la roche. Toutes les roches sont donc poreuses, et ce qui se passe dans la coloration artificielle de l'agate prouve que les pierres en apparence les plus compactes sont pénétrables par un liquide, en vertu de la seule force de la capillarité. »

La présence de l'eau dans les roches dures a été constatée par Durocher (\*) qui s'est livré à une série d'expériences sur les divers feldspaths, les porphyres, le fer oxydulé, le fer oligiste, l'hématite, les minerais de manganèse. Il plaçait les échantillons, grossièrement pulvérisés, sous des cloches où l'air était maintenu dans un état

(\*) DUROCHER, *Recherches sur l'absorption de l'eau atmosphérique par les substances minérales* (16 mai 1853). — *Bulletin de la Société géologique de France*, 2<sup>e</sup> série, t. X.

permanent d'humidité, parfois pendant quatre ans. Ensuite il expulsait l'eau par la chaleur, de 15 à 100° et de 100° au rouge sombre, dans le but de chasser d'abord l'humidité, puis l'eau combinée. C'est cette dernière qu'il avait pour objet de rechercher spécialement ; et nous n'avons rien à citer ici des résultats de ses expériences sur l'absorption de l'eau atmosphérique.

## PREMIÈRE PARTIE.

### Recherches expérimentales.

Anciennes constatations faites en Angleterre. — Différents expérimentateurs ont déterminé la quantité d'eau de carrière contenue dans les matériaux de construction.

C'est ainsi qu'en Angleterre, une Commission, dont faisait partie M. de la Bèche, appelée à choisir les pierres destinées à la construction des nouveaux bâtiments du Parlement, a fait les constatations suivantes (\*) :

Désignation des substances.	Eau imbibant 100 parties
Calcaire légèrement siliceux, avec quelques grains de glauconie, de Chilmark.....	2,84
Oolithe légèrement cimentée par du carbonate de chaux de Kelton.....	6,94
Oolithe à grain fin, cimentée par de la chaux carbonatée, compacte et cristalline, d'Aucaster.....	7,33
Dolomie semi-cristalline, brun jaunâtre clair, de Bolsover en Derbyshire.....	3,29
Calcaire magnésien, friable, à structure un peu oolithique, de Cadeby.....	12,87
Grès quartzeux, grès blanchâtre, à grain fin et à ciment siliceux, avec 1 p. 100 de carbonate de chaux, de Craigleith près d'Édimbourg.....	3,48

(\*) Report with reference to the selection of stone for building the new Houses of Parliament.

Recherches de Delesse. — Les recherches les plus importantes sur ce sujet sont celles auxquelles s'est livré postérieurement Delesse, et que cet ingénieur des Mines, alors attaché au service d'inspection des carrières de la Ville de Paris et du département de la Seine, a publiées, en 1861, sous le titre de *Recherches sur l'eau, dans l'intérieur de la terre* (\*).

Nous laisserons de côté, comme étant en dehors de la question, les expériences qu'il a faites sur diverses substances minérales imbibées d'eau, après avoir été préalablement réduites en poudre. Mais nous croyons utile de reproduire un tableau très instructif, dans lequel il a indiqué la proportion d'eau de carrière contenue dans 33 substances diverses, tirées pour la plupart du bassin de Paris.

« Les échantillons sur lesquels j'ai opéré, écrit Delesse, ont généralement été pris dans des carrières souterraines, ou bien à plusieurs décimètres au-dessous de la surface du sol, en sorte qu'ils étaient autant que possible à l'abri des variations provenant de l'action du soleil ou de l'atmosphère. Dans les carrières, ils ont d'ailleurs été choisis à une certaine distance des parois, qui sont en partie desséchées par le mouvement de l'air.

Enfin ils ont encore été choisis beaucoup au-dessus des nappes d'eau qui coulent à l'intérieur de la terre. Immédiatement enveloppées dans une feuille d'étain et dans des vases fermés, ces échantillons étaient pesés le plus tôt possible, et on les faisait ensuite dessécher.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau qui suit. La colonne *a* donne l'eau contenue dans 100 de la substance humide et à l'état naturel, tandis que la colonne *b* donne l'eau qui, dans les conditions de mes expériences, serait absorbée par 100 de la substance sèche, si elle était replacée dans le sein de la terre. »

(\*) *Bulletin de la Société géologique de France*, XIX, 2<sup>e</sup> série.

L'auteur n'indique pas de quelle façon ni jusqu'à quel point il opérerait la dessiccation. Il est probable que les échantillons étaient simplement exposés à l'air, par un temps sec.

TABLEAU N° 1. — *Eau de carrière dans diverses substances.*

N° d'ordre	Désignation des substances	Eau pour 100 de la substance	
		humide <i>a</i>	sèche <i>b</i>
1.	<i>Gypse</i> du banc des glaises, à Suresnes, au mont Valérien.....	0,45	0,46
2.	<i>Gypse</i> du banc des Écorcheux, qui forme le ciel à la plâtrière d'Antony.....	0,48	0,48
3.	<i>Gypse</i> du banc des fleurs, à Bagneux.....	1,50	1,52
4.	<i>Calcaire</i> grossier, dur et caverneux, avec cérîtes, du banc de roche pris dans les anciennes carrières de la rue Notre-Dame-des-Champs à Paris.....	3,02	3,14
5.	<i>Craie</i> blanche de la basse masse, à Meudon.	19,30	23,91
6.	<i>Craie</i> blanche de la haute masse, à Meudon.	20,66	26,04
7.	<i>Calcaire</i> grossier, friable, un peu marneux et très tendre, avec nombreux miliolites, du banc de lambourde pris dans les anciennes carrières de la rue Notre-Dame-des-Champs à Paris.....	23,25	30,29
8.	<i>Quartz</i> blanc laiteux en filons dans le granite de Semur.....	0,08	0,08
9.	<i>Silex</i> compact de la haute masse de craie à Meudon.....	0,12	0,12
10.	<i>Silex</i> compact de la basse masse de craie à Meudon.....	0,13	0,13
11.	<i>Silex</i> meulière, un peu caverneux, de l'argile à meulières supérieures, du plateau de Sèvres.....	1,12	1,13
12.	<i>Sable</i> quartzeux rougeâtre, de l'étage de Fontainebleau pris à Meudon.....	2,24	2,29
13.	<i>Sable</i> quartzeux grisâtre, de l'étage de Fontainebleau pris à Meudon.....	2,66	2,73
14.	<i>Arène</i> très grossière formée de débris de gneiss et de granite, de Semur.....	7,04	7,54

## 38 SATURATION HYGROMÉTRIQUE DE L'ÉCORCE DU GLOBE

N <sup>o</sup> d'ordre	Désignation des substances	Eau pour 100 de la substance	
		humide <i>a</i>	sèche <i>b</i>
15.	<i>Argile</i> brunâtre, diluvienne, avec débris très nombreux de roches granitiques de Chevigny.....	10,40	11,61
16.	<i>Argile</i> brun rougeâtre, employée comme terre à briques, du terrain diluvien supérieur à Bicêtre.....	46,40	19,19
17.	<i>Argile</i> brun rougeâtre du terrain diluvien supérieur; elle forme la terre végétale à Villejuif.....	17,53	21,25
18.	<i>Argile</i> plastique grise, prise à 1 <sup>m</sup> ,50 de profondeur dans une glaisière à ciel ouvert à Issy.....	19,56	24,32
19.	<i>Argile</i> plastique noire, prise dans une glaisière souterraine de Vaugirard-Paris.....	23,20	30,21
20.	<i>Argile</i> blanc grisâtre enveloppant les meulière supérieures à Meudon.....	24,48	32,41
21.	<i>Marne</i> verte, très argileuse, supérieure au gypse, servant à fabriquer la brique au Mont Valérien.....	16,55	19,83
22.	<i>Marne</i> vert jaunâtre, argileuse, supérieure au gypse, servant à faire de la brique au Mont Valérien.....	20,92	26,45
23.	<i>Marne</i> blanche, calcaire, recouvrant le banc des Fleurs, à Bagneux.....	24,22	31,96
24.	<i>Marne</i> blanc verdâtre, schistoïde et magnésienne, associée à la précédente dans le terrain du gypse à Bagneux.....	27,99	38,87
25.	<i>Marne</i> blanche plastique, supérieure au calcaire grossier des anciennes carrières sous Paris.....	28,81	39,49
26.	<i>Eurite</i> noirâtre avec mica, de Chevigny.....	0,07	0,07
27.	<i>Gneiss</i> très micacé, friable et un peu décomposé, de Flée.....	3,00	3,09
28.	<i>Granite</i> à gros grains, avec quartz, orthose rose à deux micas, de Semur.....	0,37	0,37
29.	<i>Granite</i> précédent, désagrégé et commençant à passer à l'arène.....	1,85	1,88
30.	<i>Granite</i> précédent plus complètement désagrégé.....	3,68	3,82

## SATURATION HYGROMÉTRIQUE DE L'ÉCORCE DU GLOBE 39

N <sup>o</sup> d'ordre	Désignation des substances	Eau pour 100 de la substance	
		humide <i>a</i>	sèche <i>b</i>
31.	<i>Granite</i> précédent, devenu plastique et kaolinisé.....	12,44	14,21
32.	<i>Bois</i> de sapin mou et décomposé dans les carrières souterraines.....	38,96	63,83
33.	<i>Bois</i> de chêne mou et décomposé dans les carrières souterraines, $d = 1.234$ .....	88,90	800,90

Après avoir fait ressortir les différences que présentent les principales substances soumises à l'expérience, au point de vue de l'eau qu'elles contiennent souterrainement, Delesse conclut ainsi : « Les roches, même celles qui sont les plus compactes, ont toutes de l'eau de carrière, au moment où on les extrait du sein de la terre. Comme il est facile de s'en assurer pour le granite et le silex, quelques millièmes ou dix-millièmes de cette eau suffisent pour les rendre beaucoup plus tendres, moins tenaces, et pour modifier très notablement leurs propriétés physiques. Mais les roches perdent assez rapidement cette eau quand elles sont exposées à l'action de l'air, et en même temps elles se délitent pour la plupart. »

Le même géologue a fait encore une série d'expériences dans des conditions différentes des précédentes, en vue de déterminer l'eau d'imbibition des roches. Dans ce but, il laissait séjourner des fragments de ces roches dans l'eau « pendant plusieurs heures » ; après cela, leur surface était essuyée et l'on déterminait l'augmentation de poids.

Cette méthode était défectueuse. Nos propres expériences nous ont en effet montré, comme on le verra plus loin, que la quantité d'eau absorbée par les roches est loin d'atteindre son maximum au bout de quelques heures. Il faut généralement plusieurs jours de séjour dans l'eau.

Les chiffres obtenus par Delesse sont donc trop faibles. Néanmoins, ils fournissent, sous cette réserve, des indi-

40 SATURATION HYGROMÉTRIQUE DE L'ÉCORCE DU GLOBE  
 cations intéressantes concernant des roches très variées.  
 Nous les reproduisons ci-dessous.

TABLEAU N° 2. — Eau d'imbibition pour les substances en fragments.

Désignation des substances	Eau imbibant 100 parties
<i>Gypse</i> jaunâtre, grenu et cristallin, du Mont Valérien.	2,20
<i>Marbre</i> poli, gris, brunâtre, très compact, de Boulogne-sur-Mer.	0,08
<i>Calcaire</i> caveux, dit la roche, formant le banc supérieur du calcaire grossier.	3,20
<i>Calcaire</i> grossier, tendre et poreux, dit lambourde, de Bagneux.	9,67
— d'Arcueil.	10,80
— d'Ivry.	13,40
— de Gentilly.	16,23
— de Carrières-Saint-Denis.	18,60
— de Honnelles.	18,80
— de Nanterre.	21,10
<i>Craie</i> à l'état naturel, des Moulineaux, à Issy.	24,10
<i>Grès</i> des sables supérieurs servant au pavé de Paris.	0,66
— — —	4,37
— — —	13,15
<i>Schiste ardoisier</i> , gris noirâtre, avec trilobites, d'Angers.	0,19
<i>Schiste</i> noirâtre, avec empreintes végétales, du terrain houiller.	2,85
<i>Basalte</i> noir, prismatique, sans cellules visibles, de Borne dans la Haute-Loire.	3,03
<i>Phonolithe</i> vert grisâtre, prismatique et schistoïde, du Mégal.	1,43
<i>Rétinite</i> noir, compacte, en filons, du hameau de l'Estrade dans le Cantal.	0,20
<i>Trachyte</i> gris, celluleux et porphyroïde, du moulin de la Scierie aux bains du Mont-Dore.	3,70
<i>Granite</i> amphibolique de Sainte-Marie-aux-Mines.	0,06
<i>Granite</i> grenu, gris bleuâtre, de Saint-Brieuc.	0,12
<i>Écume de mer</i> blanche, très légère, happant très fortement à la langue.	91,15

Parmi les substances désignées dans les deux tableaux

SATURATION HYGROMÉTRIQUE DE L'ÉCORCE DU GLOBE 41  
 précédents, il s'en trouve quatre seulement qui ont une appellation semblable dans l'un et dans l'autre : le gypse, le calcaire grossier, la craie et le granite. Bien que les échantillons de ces roches diffèrent les uns des autres sous le rapport de leur origine, il n'est pas sans intérêt de comparer leur teneur en eau soit d'imbibition, soit de carrière.

Pour le gypse, d'après les résultats consignés dans le tableau n° 1, la quantité d'eau de carrière varie beaucoup suivant les bancs, qui sont plus ou moins compacts, plus ou moins poreux. Cette quantité a été de 0,46 p. 100 dans un échantillon, de 0,48 dans un autre, de 1,52 dans le troisième. L'échantillon unique désigné dans le tableau n° 2 a absorbé 2,20 p. 100 d'eau.

Pour le calcaire caveux, appartenant au banc de roche du calcaire grossier, l'eau de carrière a été trouvée de 3,11 p. 100 ; celle d'imbibition de 3,20 p. 100, pour un échantillon pris sur un autre point. La différence est faible.

Quant au calcaire grossier exploité dans le bassin de Paris comme pierre à bâtir, l'eau qu'il a absorbée a varié, suivant la provenance des échantillons, de 9,67 à 21,10 p. 100. L'unique échantillon de roche appartenant à la même formation, qui figure au tableau n° 1, accuse une quantité d'eau de carrière bien supérieure : 30,29 p. 100.

Les chiffres relatifs à l'eau de carrière pour la craie de Meudon (23,91 et 26,04) et à l'eau d'imbibition pour la craie des Moulineaux (24,10) sont tout à fait comparables.

Enfin, pour le granite, on ne peut placer en regard l'un de l'autre qu'un échantillon à gros grains provenant de Semur et contenant 0,37 p. 100 d'eau de carrière, et un échantillon grenu, de Saint-Brieuc, contenant seulement 0,12 p. 100 d'eau d'imbibition.

Ces résultats, si restreints qu'ils soient, donnent lieu de se demander s'il y a nécessairement une différence, pour un même échantillon, entre la quantité d'humidité qu'on peut lui faire absorber par un séjour dans l'eau et celle qu'il contient naturellement au sein de la terre.

C'est dans ce sens que Delesse s'est prononcé dans son mémoire. Guidé, semble-t-il, plutôt par les idées qui avaient cours que par les résultats de ses propres expériences, il a affirmé d'une façon beaucoup trop absolue que les roches, au sein de la terre, « n'ont pas à beaucoup près toute l'eau qu'elles peuvent retenir et sont loin d'en être saturées ».

Il n'avait probablement en vue que les gisements tout à fait superficiels sur lesquels ont porté, d'ailleurs, la plupart de ses recherches. Ce qui porte à le penser, ce sont les lignes suivantes du même auteur :

« L'eau de carrière contenue dans les roches doit varier, dans certaines limites, avec les saisons et augmenter à la suite des grandes pluies. »

Restreignant, aussitôt après, la portée de cette indication, Delesse ajoute :

« Toutefois, pour les roches se trouvant à une petite profondeur au-dessous du sol, il est probable qu'elle reste à peu près constante. On s'en rendra compte en observant que l'eau qui pénètre dans le sol est seulement une fraction de celle qui tombe à la surface, que, de plus, l'eau de carrière est retenue dans la roche par des affinités puissantes, qu'elle ne peut guère s'évaporer ni s'égoutter, qu'elle s'introduit surtout par capillarité et qu'elle provient en partie des nappes souterraines inférieures. »

Ce sujet sera éclairci plus loin.

#### Diminution de la résistance des roches imprégnées d'eau.

— Ce qui, depuis nombre d'années, a appelé l'attention des maîtres carriers sur l'eau que contiennent les pierres

dans leur gisement, c'est leur durcissement ultérieur par le fait de leur exposition à l'air.

Il est donc naturel et logique, quand on se livre à des recherches sur l'eau d'imprégnation des pierres de taille, de faire en même temps des essais sur la résistance de ces pierres à l'écrasement. Toutefois ces essais ont été rarement entrepris, parce qu'ils exigent des appareils spéciaux.

Nous avons nous-même été conduit à étudier, à diverses reprises, l'affaiblissement des roches calcaires imprégnées d'eau. C'est pourquoi nous nous en occuperons en même temps que de la détermination de l'eau de carrière, qui est notre principal objectif. Car nous nous sommes rendu compte de la difficulté que nous aurions à traiter les deux sujets séparément, sans nous exposer à des redites ou bien sans nuire à l'un ou à l'autre d'entre eux.

L'affaiblissement dont il s'agit ne surprend personne, parce que chacun sait que certaines substances, telles que les argiles, la craie de Meudon, etc., s'amollissent au contact de l'eau jusqu'à s'y délayer. L'explication scientifique de ce phénomène n'est pas encore donnée. A ce sujet, Ch. d'Orbigny fait la remarque ingénieuse qu'il est plus aisé de casser un verre plein d'eau qu'un verre vide. « En effet, écrit-il, une roche plus ou moins poreuse résiste jusqu'à un certain point à la percussion, car le choc est alors arrêté par les pores et ne peut se communiquer à la masse entière. Mais, si l'eau vient à remplir tous les pores, comme elle est presque incompressible, elle détruit l'effet de la porosité et l'annihile, en rendant la roche compacte et facile à briser ; c'est effectivement ce qui a lieu pour le silex, qui est une roche poreuse contenant une assez grande quantité d'eau de carrière (\*). »

(\*) *Description des roches composant l'écorce terrestre et des terrains cristallins constituant le sol primitif*, par Ch. d'ORBIGNY ; 1868.

Ce n'est pas seulement, comme le montrent les essais à la presse hydraulique dont nous ferons mention plus loin, la résistance des pierres à la percussion ou à la flexion, qui diminue sensiblement, à la suite de l'imbibition, mais encore la résistance à l'écrasement.

Essais de résistance à l'écrasement exécutés sur la craie de Bougival, sous divers états hygrométriques. — Dès 1887, notre attention avait été appelée sur la proportion d'eau considérable que la craie blanche à silex des environs de Paris est susceptible d'absorber. Le service des Mines suspectait à bon droit les piliers d'une vaste carrière souterraine de craie, située à Bougival et appartenant à M. Pointelet, de ne pas offrir une résistance suffisante pour écarter tout danger d'effondrement en masse. D'après nos instructions, on avait fait tailler, dans de la craie empruntée à ces piliers, ainsi qu'aux fronts des chantiers en exploitation, 48 échantillons cubiques ayant exactement 10 centimètres de côté. Ceux-ci furent remis au laboratoire d'essais de l'École Nationale des Ponts et Chaussées et soumis à des essais de résistance à l'écrasement comparatifs, savoir : un tiers à l'état naturel, le second tiers après dessiccation à la température de 30 à 40°, le reste après une immersion dans l'eau, prolongée pendant quarante-huit heures.

Les résultats sont assez intéressants pour que nous les reproduisions *in extenso*, d'après le procès-verbal signé par M. l'ingénieur en chef Durand-Claye et par M. l'ingénieur Debray, l'un directeur, l'autre directeur adjoint du laboratoire, le 17 septembre 1887. Les essais ont été exécutés les 10, 12 et 14 du même mois à l'aide de presses hydrauliques. Nous les groupons en un tableau, de manière à faire ressortir, pour chaque série de 16 échantillons, la moyenne de densité et de résistance à l'écrasement. En raison des grandes variations que pré-

sentent les chiffres inscrits dans les différentes colonnes, nous avons souligné partout le maximum et le minimum, de façon à faciliter l'examen du tableau : c'est une mesure aussi simple qu'utile, dont l'adoption se recommande d'elle-même dans bien des cas.

TABLEAU. — Essais de résistance à l'écrasement.

CRAIE A L'ÉTAT NATUREL			CRAIE DESSECHÉE			CRAIE IMBIBÉE D'EAU		
POIDS du mètre cube	RÉSISTANCE par centimètre carré		POIDS du mètre cube	RÉSISTANCE par centimètre carré		POIDS du mètre cube	RÉSISTANCE par centimètre carré	
	première fissure	écrasement total		première fissure	écrasement total		première fissure	écrasement total
kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1.666	»	17,6	1.636	25,7	55,8	1.938	»	13,5
1.650	11,4	24,9	1.573	28,9	48,2	1.963	11,4	14,9
1.635	»	28,5	1.593	26	78,1	1.926	5,7	11,5
1.648	13,9	15,4	1.608	23,8	43,5	1.905	6,4	10,8
1.556	10,2	19,7	1.528	17,7	46,2	1.953	8,6	18
1.552	9,1	12,6	1.548	17,4	51,7	1.899	2,1	12,1
1.573	10,7	17,2	1.530	20	44,9	1.873	5,5	13,8
1.570	10,3	20,6	1.526	40,3	58,2	1.865	4,3	9,3
1.834	15,1	20,8	1.563	32,2	46,5	1.921	2,7	8,3
1.575	7,8	17,1	1.645	33	65,4	1.941	5,7	9,2
1.648	7,9	16,6	1.618	53,2	60,3	1.927	10	12,8
1.550	»	24,2	1.550	32	38,9	1.932	13,5	21,3
1.583	7,1	19,9	1.632	28,5	49,4	1.945	2,8	10,6
1.600	4,3	14,5	1.596	7,2	39,1	1.928	11,2	15,7
1.640	10,8	19,5	1.605	17,8	49,9	1.938	2,1	9,2
1.637	7,0	20,5	1.617	35,2	55,4	1.890	4,2	10,6
<i>Moyennes</i>								
1.619	»	19,3	1.585	»	52,0	1.919	»	12,6

Les indications ci-dessus donnent lieu à diverses observations.

On voit tout d'abord que la densité varie d'un échantillon à l'autre ; et cependant, à la vue, ils semblent identiques. Les différences paraissent être en rapport avec le degré d'agrégation des particules constituantes. La craie blanche ne contient que 2 à 3 p. 100 de magnésie, d'ar-

gile et de fer ; mais elle est intimement mêlée de sable siliceux, à grains très fins, et plus ou moins abondant suivant les lieux, comme Cuvier et Brongniart en ont fait la remarque dans leur *Description géologique des environs de Paris*. Telle est aussi l'une des causes des différences, celles-ci beaucoup plus grandes, que l'on remarque dans les valeurs de la charge à la suite de laquelle s'est déclarée la première fissure ou bien s'est produit l'écrasement total du cube soumis à la presse hydraulique.

Sous le rapport de l'eau de capillarité, tandis que la craie desséchée pèse, en moyenne, 1.585 kilogrammes par mètre cube, la craie immergée dans l'eau pendant quarante-huit heures en pèse 1.919. La différence, montant à 334 kilogrammes, représente le poids d'eau absorbée ; il forme 21 p. 100 de celui de la craie desséchée. Ainsi, dans les conditions de ces expériences, la craie immergée contient en moyenne une quantité d'eau remplissant le tiers de son volume.

A l'état naturel, cette substance ne présente, par rapport à la craie desséchée, qu'un faible excédent de poids de 34 kilogrammes par mètre cube ; par conséquent, elle ne contient guère plus de la dixième partie de l'eau qu'elle absorberait au bout de quarante-huit heures d'immersion.

C'est au point de vue de la résistance que les essais fournissent les renseignements les plus intéressants.

Il y a eu des écarts considérables dans la valeur de la charge sous laquelle est apparue la première fissure.

Les différences ont été moindres, au point de vue des charges qui ont produit l'écrasement total ; celles-ci ont varié cependant du simple au double et même un peu au-delà, dans chacune des séries d'essais, c'est-à-dire pour les échantillons soit imbibés d'eau, soit desséchés, soit à l'état naturel.

Mais on constate, du premier coup d'œil, que les chiffres indiquant la résistance de la craie desséchée sont beau-

coup plus élevés que ceux concernant la résistance de la craie à l'état naturel et de la craie imbibée d'eau, de cette dernière surtout.

On trouve, en effet, comme moyenne, pour la charge par centimètre carré ayant amené l'écrasement total, des chiffres bien différents :

Pour la craie desséchée.....	52	kilogrammes
— à l'état ordinaire..	19,3	—
— imbibée d'eau....	12,6	—

L'eau absorbée par la craie de Bougival lui a donc fait perdre les *trois quarts* de sa résistance. En présence de cet énorme écart, l'ingénieur des Mines du département de Seine-et-Oise était d'avis d'admettre que les piliers naturels de la carrière dans laquelle les échantillons avaient été prélevés contenaient une quantité d'eau intermédiaire entre la siccité et la saturation, et calculait leur résistance sur le pied de 32 ou 33 kilogrammes par centimètre carré, moyenne des nombres 52 et 12,6 précédemment cités. Dans ces conditions, ils paraissaient présenter une sécurité complète, tandis qu'ils offraient une épaisseur tout à fait insuffisante, en égard à la profondeur de la carrière (qui était de plus de 50 mètres) et conséquemment du danger d'effondrement, dans le cas où l'on adoptait une résistance de 12<sup>kg</sup>,6 seulement. La question avait donc une grande importance (\*).

Nous avons pensé qu'il était indispensable, avant de formuler une conclusion à cet égard, de rechercher quelle était effectivement dans la carrière la teneur en eau de

(\*) Nous avons posé les principes du calcul de la charge des piliers souterrains dans deux notices publiées dans les *Annales des Mines*, savoir : *Consolidation des carrières souterraines sous l'emplacement des réservoirs de Montrouge* (livr. de mars-avril 1877) ; *Consolidation des carrières souterraines sous le prolongement du chemin de fer de Sceaux dans Paris* (livr. d'août 1895).

la craie qui constituait ces piliers. On aurait ensuite procédé, en cas de besoin, à des essais de résistance, à l'aide de la presse hydraulique, sur des échantillons imbibés préalablement, au laboratoire, de la quantité exacte d'eau qu'ils contenaient sur place, en souterrain.

**Saturation hygrométrique de la craie dans les carrières souterraines de Bougival.** — Afin d'être renseigné le plus exactement possible, nous avons fait peser, à l'aide d'une balance portative, dans la carrière même, 6 échantillons de craie, prélevés en différents points, aussitôt après qu'on les eût détachés de la masse à laquelle ils appartenaient.

Transportés au laboratoire, ces échantillons ont été pesés une seconde fois, le 3 juin 1888, après une dessiccation à l'air libre prolongée pendant deux mois.

Ensuite ils ont été de nouveau pesés à deux reprises : 1° après quelques minutes d'immersion dans l'eau ; 2° après quatre jours de séjour dans l'eau. Les résultats ont été les suivants :

N <sup>o</sup> d'ordre des échan- tillons	ANNÉE de l'ouverture de la GALERIE	POIDS DES ÉCHANTILLONS				DIFFÉRENCE entre LES POIDS constatés en carrière et après dessiccation	EAU de CARRIÈRE p. 100 parties de craie sèche
		dans la carrière	après dessic- cation	après une courte immer- sion	après immer- sion pendant 4 jours		
		grammes	grammes	grammes	grammes	grammes	
1	1881	320	238	302	305	82	34,4
2	1884	565	464	540	550	101	21,8
3	1887	260	206	247	250	54	26,2
4	1874	290	227	270	280	63	27,7
5	1852	255	211	244	246	44	20,8
6	1885	300	249	272	290	51	20,5

On voit que quelques minutes d'immersion ont suffi pour

faire absorber à la craie la majeure partie, mais non l'intégralité de l'eau que contenaient les échantillons dans la carrière et qu'une dessiccation prolongée leur avait fait perdre. Les mêmes échantillons, immergés de nouveau pendant quatre jours, ont encore absorbé un peu d'eau. Néanmoins, tous les poids inscrits dans la sixième colonne demeurent inférieurs à ceux qui correspondent aux pesées effectuées dans la carrière. Pour obtenir l'équivalence, il aurait fallu, comme nous nous en sommes assuré ultérieurement, prolonger l'immersion pendant une douzaine de jours encore, parce que l'imbibition se fait de plus en plus lentement à mesure qu'on approche du point de saturation (\*).

Bien que l'imbibition n'ait pas été poussée à son extrême limite, les expériences ci-dessus montrent bien que la craie de Bougival est entièrement saturée d'eau dans le sein de la terre. L'eau y forme, en moyenne, 25,2 p. 100 du poids de la craie sèche.

D'ailleurs, comme il résulte des chiffres donnés précédemment, dans un gisement souterrain la proportion d'eau de carrière varie sensiblement d'un point à un autre. ce qui prouve que la craie est loin d'avoir le degré d'ho-

(\* Nous avons fait, plus tard, l'expérience suivante sur un bloc de craie sèche pesant 1<sup>kg</sup>,539, provenant des Moulineaux (Seine). Au bout de quatre jours et demi d'immersion dans l'eau, il pesait 1<sup>kg</sup>,910, et au bout de douze autres jours 1<sup>kg</sup>,920, son poids ayant augmenté, dans cette période, de 10 grammes, soit de 1/2 p. 100. Nous l'avons ensuite plongé dans de l'eau maintenue bouillante pendant deux heures, afin de chasser l'air qui pouvait rester emprisonné dans les pores de la craie, en suivant le procédé qu'a préconisé la *Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction*, instituée par le décret du 9 novembre 1891. Son poids, après séjour dans l'eau refroidie et dans un état qui est considéré comme correspondant à la saturation complète, s'est élevé à 1<sup>kg</sup>,922.

Dans cet échantillon, l'eau imbibée constitue 24,9 p. 100 du poids de la substance sèche, chiffre très voisin de ceux que des recherches moins précises nous ont donnés pour la craie de Bougival, mais cependant légèrement inférieur à leur moyenne. Le calcul effectué en prenant 1<sup>kg</sup>,910 comme point de départ, au lieu de 1<sup>kg</sup>,922, donnerait 24,1 seulement, soit une différence de 0,8 p. 100 de la craie sèche.

mogénéité que son apparence tend à lui faire attribuer.

Dans toute la carrière, la masse s'est montrée saturée d'humidité. Les échantillons n° 4 et n° 5 ont été pris, en effet, auprès de deux puits, dont le premier sert à l'aérage, et le second à l'extraction : leur saturation n'est pas moins complète que celle des échantillons prélevés dans d'autres endroits, éloignés de toute communication avec le jour. L'ancienneté des chantiers ne joue non plus aucun rôle. Aucune trace de dessiccation causée par le temps ne s'est fait sentir depuis que la masse crayeuse a été fouillée par la main de l'homme, dans la carrière dont il s'agit.

**Divers essais de résistance exécutés sur la craie desséchée ou saturée d'eau.** — A l'appui des recherches précédentes nous citerons quelques expériences sur la craie des carrières des Moulineaux (commune d'Issy, département de la Seine), auxquelles s'est livré, en 1876, l'un de nos prédécesseurs, Tournaire, alors inspecteur général des carrières de la Seine, en collaboration avec Michelot, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Elles sont consignées dans une note inédite.

Les échantillons étaient taillés sous forme de cubes de 1 décimètre de côté. Les uns étaient complètement desséchés dans une étuve où la température dépassait de beaucoup 100°, sans atteindre jamais le rouge. D'autres étaient complètement humectés.

La moyenne de six essais a donné, pour la craie saturée, une quantité d'eau égale en volume à 386 décimètres cubes par mètre cube; et égale en poids à 24,3 p. 100 de la craie desséchée.

La craie des Moulineaux est donc tout à fait analogue, comme porosité, à celle de Bougival. Cependant sa résistance à l'écrasement s'est montrée supérieure tant à l'état sec qu'après imbibition. Elle a été la suivante :

	Craie desséchée kilog.	Craie saturée kilog.
Charge par centimètre carré, ayant amené l'écrasement total.....	86,2	18,6
Nombre des essais.....	2	6

D'après ces chiffres, la résistance de la craie saturée d'eau n'atteint pas le quart de celle de la craie bien desséchée, et la diminution de résistance est sensiblement la même pour les échantillons prélevés par Tournaire aux Moulineaux et pour ceux que nous-même avons fait tirer de la carrière de M. Pointelet, à Bougival.

Delesse, dans quelques essais du même genre auxquels il s'est livré, a trouvé pour la craie d'une carrière (non désignée), située à Issy, les chiffres suivants :

	Charge d'écrasement par centimètre carré kilog.
Craie desséchée .....	36,4
— à l'état naturel.....	23,6
— imbibée d'eau.....	12,9

Ici la résistance s'est abaissée au tiers, à peu de chose près.

Des variations se constatent sous ce rapport suivant les bancs et suivant les localités.

Ainsi, deux essais, exécutés en mai 1894, sur des échantillons de craie provenant de la carrière de M<sup>me</sup> V<sup>o</sup> Motte à Bougival, par M. Janet, ingénieur des Mines, après imbibition d'eau, ont produit l'écrasement sous des charges de 23,9 et de 36,9 kilogrammes, chiffres très supérieurs à ceux que nous avons précédemment cités.

**Différences que présente la résistance de la craie suivant le sens de la compression.** — Les écarts considérables constatés entre les charges limites, suivant les échantillons soumis aux épreuves, paraissent dus en partie à la con-texture des échantillons eux-mêmes; ils peuvent encore avoir d'autres causes.

Il intervient, en effet, une particularité dont personne jusqu'à présent ne semble avoir tenu compte et qu'il convient de signaler.

La craie qu'on exploite dans le bassin de Paris, et qui fournit le blanc dit de Meudon, offre une homogénéité apparente des plus remarquables : il est impossible d'y distinguer, en l'absence de silex, des lits de stratification. En conséquence, les cubes, qu'on a taillés pour procéder aux essais, ont été soumis à la compression sans avoir égard au lit ou au délit. Nous avons pensé que cette circonstance pouvait influencer sur la valeur de la charge d'écrasement ; et, pour nous en assurer, nous avons fait prendre dans la carrière Motte, dont il vient d'être question, 6 échantillons de craie, avec des marques soigneusement faites dans le chantier d'extraction même pour indiquer le lit et le délit. Ces échantillons ont été réduits par la taille sous la forme de cubes de 1 décimètre de côté, en conservant les marques précitées.

Après imbibition d'eau, les 6 cubes ainsi dressés ont été soumis à la presse hydraulique, le 3 juillet 1894, en notre présence et sous les yeux de M. Janet que nous avons invité à venir assister à ces essais. Les résultats ont été concluants, comme le montrent les chiffres ci-dessous.

	Échantillons comprimés	
	de lit en lit kilog.	en délit kilog.
Charge de rupture par centimètre carré.	35	21,7
—	27,4	19,0
—	27,6	19,6
Moyennes.....	30,0	20,1

Le sens dans lequel s'exerce la compression joue donc un rôle considérable ; et il était intéressant de le constater dans une substance où l'œil ne distingue pas le lit du délit.

M. Janet a fait, l'année suivante, d'autres recherches similaires sur des échantillons provenant des crayères de Bougival, de Meudon et de Port-Marly : elles ont pleinement confirmé les résultats de nos propres expériences.

Il faudra donc, dorénavant, quand on procèdera à des essais de résistance à l'écrasement, avoir soin de placer les échantillons de craie sur leur lit, comme on le fait, naturellement et sans difficulté spéciale, pour les pierres de taille.

**Saturation hygrométrique du calcaire grossier dans les carrières souterraines de la Seine.** — Nos investigations, en ce qui touche l'eau de carrière, ont d'abord porté sur la craie, et nous en avons rendu compte dans un précédent paragraphe ; nous les avons ensuite étendues au calcaire grossier et au gypse, dont l'exploitation se fait souterrainement dans le bassin de Paris.

Le tableau suivant contient les résultats des pesées pratiquées sur 6 échantillons de calcaire grossier, d'abord dans la carrière, aussitôt après leur détachement de la masse de pierre, ensuite après un séjour de dix journées dans un local sec, enfin après immersion dans l'eau. Pour suivre la marche de l'imbibition, les pesées ont été renouvelées sur chaque échantillon au bout de deux, cinq et vingt et un jours. La densité a été déterminée directement pour chacun d'eux.

Ils ont été extraits d'anciennes carrières abandonnées, qui existent sous la ville de Paris, savoir :

N<sup>os</sup> 1 et 2, sous le Palais du Trocadéro, à une profondeur d'environ 12 mètres ;

N<sup>os</sup> 3 et 4, sous la rue du Château-des-Rentiers, à 15 mètres de profondeur ;

N<sup>os</sup> 5 et 6, sous l'Hospice La Rochefoucault, à 19 mètres de profondeur.

Nos d'ordre des échan- tillons	POIDS DES ÉCHANTILLONS					DIFFÉRENCE entre les poids constatés en carrière et après dessiccation	EAU de CARRIÈRE pour 100 parties de calcaire sec	DENSITÉ de la roche saturée d'eau
	dans la carrière	après dessic- cation	APRÈS IMMERSION DANS L'EAU PENDANT					
			2 jours	5 jours	21 jours			
	grammes	grammes	grammes	grammes	grammes	grammes		
1	353,8	305,9	347,5	345,5	348	47,9	15,6	2,2
2	418	383,1	404	405	408	34,9	9,1	2,3
3	407	380,8	409	411	416	26,2	6,9	2,1
4	448,5	414,3	452	455,5	461	34,2	8,2	2,1
5	452	422,2	441,5	442	444	29,8	7,0	2,3
6	517	496,2	507	508	508,5	20,8	4,2	2,5

En comparant les chiffres du tableau ci-dessus, on reconnaît que les échantillons n<sup>os</sup> 1, 2, 5 et 6 n'ont pu réabsorber, au bout de vingt et un jours d'immersion, la quantité d'eau qu'ils contenaient dans l'intérieur de la terre.

On doit en inférer qu'en place ils étaient absolument saturés.

Pour les échantillons 3 et 4, on constate une légère différence en sens inverse ; l'écart semble devoir être attribué à un fort courant d'air qui règne dans la galerie d'inspection existant sous la rue du Château-des-Rentiers, galerie dans laquelle les deux échantillons ont été prélevés. Néanmoins, le calcaire s'est montré là très voisin de la saturation.

Si, pour faire la part des erreurs d'observation, on additionne les résultats obtenus pour les dix échantillons, on obtient les nombres suivants :

Poids en carrière.....	2.596 <sup>er</sup> ,3
Poids après immersion dans l'eau pen- dant 21 jours.....	2.585 ,5

Il y a un excédent en faveur du poids en carrière.

Nous avons ensuite procédé, d'une autre façon, à une seconde série d'expériences sur des échantillons de calcaire grossier tirés de carrières souterraines en exploitation situées dans la banlieue de Paris, savoir : les n<sup>os</sup> 1 et 2 de la carrière dite « Les Pierrelets », située à Châtillon-sur-Seine, à 47 mètres de profondeur ; les n<sup>os</sup> 3 et 4 de la carrière dite « Les Roissis », située à Clamart, à 35 mètres de profondeur.

Ils ont été pesés dans la carrière ; puis, après avoir été maintenus pendant deux heures et demie dans de l'eau bouillante, et aussitôt après, pendant une journée, dans l'eau froide, ils ont été soumis à une nouvelle pesée.

Les résultats obtenus par cette seconde méthode sont les suivants :

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	POIDS	POIDS
	DANS LA CARRIÈRE	APRÈS IMMERSION DANS L'EAU
	grammes	grammes
1	379,2	382
2	473,9	485
3	510	508
4	510,5	507

Comme on voit, la saturation en souterrain est complète pour les deux derniers échantillons, et très approchée pour les deux premiers.

Saturation hygrométrique du gypse dans les carrières souterraines de la Seine. — Nous sommes arrivés à des constatations analogues en opérant sur des échantillons de gypse provenant de carrières souterraines exploitées à Bagneux-sur-Seine (n<sup>os</sup> 1 et 2) et à Châtillon-sur-Seine (n<sup>os</sup> 3 et 4).

La dessiccation à l'air libre a duré seize jours.

L'immersion n'a pas été prolongée au-delà de huit jours, parce qu'on a reconnu que le poids constaté une première

fois, au bout de trois jours, tendait plutôt à diminuer qu'à augmenter, par l'effet de la dissolution d'une petite quantité de sulfate de chaux dans l'eau.

Les résultats des expériences sont réunis dans le tableau suivant :

N <sup>os</sup> D'ORDRE des échan- tillons	POIDS DES ÉCHANTILLONS				DIFFÉRENCE entre LES POIDS constatés en carrière et après dessiccation	EAU de carrière p. 100 parties de gypse sec	DENSITÉ de LA ROCHE saturée d'eau
	dans la carrière	après dessic- cation	APRÈS IMMERSION DANS L'EAU PENDANT				
			3 jours	8 jours			
	grammes	grammes	grammes	grammes	grammes		
1	322,5	280	323	322	42,5	15,2	2,0
2	370	358	371	371	12	3,4	2,25
3	449,5	420	448	447	29,5	7,0	2,23
4	393	377	395	395	16	4,2	2,20

La comparaison du poids des échantillons : 1<sup>o</sup> dans la carrière, 2<sup>o</sup> après qu'on les avait saturés d'eau au laboratoire, indique des différences insignifiantes, variant de 1/2 à 2 grammes, en plus ou en moins. D'où il ressort que les bancs de gypse de Bagnoux et de Châtillon sont saturés naturellement, avant leur extraction.

La proportion d'eau varie d'ailleurs beaucoup suivant les couches.

#### État hygrométrique des roches exploitées à ciel ouvert.

— Nous n'avons pas pratiqué de recherches analogues sur les roches exploitées à ciel ouvert; et le motif en est facile à comprendre.

Les échantillons qu'on se procurerait seraient dans un certain état de dessiccation, à cause du contact prolongé du front de masse avec l'air ambiant.

Mais, si les roches dont nous parlons ne sont pas satu-

rées d'eau, elles sont néanmoins humides. Car la terre l'est elle-même à une faible profondeur au-dessous du sol, comme le savent bien les agriculteurs. La dessiccation, sous l'influence des rayons solaires et de l'évaporation, est purement superficielle.

Si l'on creuse un puits dans n'importe quel terrain, on rencontre une humidité d'autant plus grande qu'on descend davantage. La profondeur à laquelle la saturation d'eau est complète varie suivant différentes circonstances, notamment suivant le degré de perméabilité des assises dont le terrain se compose.

Nous nous en référons, sur ce point, aux recherches de Delesse, précédemment rapportées.

**Eau de mine.** — Les expériences précédentes tendent à montrer qu'à 15 ou 20 mètres de la surface on rencontre des bancs saturés d'eau, et que tel est, en général, l'état hygrométrique des matériaux que l'on exploite dans les carrières souterraines.

Il doit en être naturellement de même pour les produits des mines.

A cet égard nous ne pouvons présenter que les résultats suivants. M. Coste, ingénieur des Mines à Saint-Étienne et M. Porta, contrôleur sous ses ordres, ont bien voulu nous adresser, sur notre demande, deux échantillons de houille n<sup>o</sup> 1 et n<sup>o</sup> 2 et deux échantillons du nerf adjacent qu'ils ont prélevés lors de l'abatage, dans deux chantiers des houillères de Beaubrun (puits Montmartre n<sup>o</sup> 1, 3<sup>o</sup> et 6<sup>o</sup> couches), aux profondeurs de 80 et de 175 mètres. Faute de pouvoir descendre dans la mine une balance assez sensible, sans risquer de l'endommager, les pesées ont eu lieu au jour dans le laboratoire de la mine.

Malgré cette dérogation au programme que nous avons tracé, les résultats, qui doivent être considérés comme approximatifs, sont intéressants.

Après leur première pesée sur place, les échantillons, expédiés à Paris, ont été pesés : 1° dans un air sec ; 2° après ébullition dans l'eau pendant deux heures et demie et immersion consécutive dans l'eau froide pendant trois jours et demi. Les poids constatés dans les trois cas ont été les suivants :

NUMÉROS des ÉCHANTILLONS	POIDS AU SORTIR DE LA HOUILLÈRE	POIDS À L'ÉTAT SEC	POIDS APRÈS IMMERSION dans l'eau
Houille n° 1.....	96 <sup>gr</sup> ,8	95 <sup>gr</sup> ,4	97 <sup>gr</sup> ,9
— n° 2.....	105 ,67	105 ,0	106 ,0
Nerf n° 1 bis.....	87 ,0	86 ,2	87 ,0
— n° 2 bis.....	140 ,43	109 ,7	110 ,6

Les poids de la dernière colonne étant ceux des échantillons saturés d'eau, on voit, si l'on en rapproche les poids qu'on a constatés au sortir du puits de la mine, que les nerfs intercalés dans la couche de houille sont saturés ; et que la houille ne semble pas éloignée de l'être également.

Une certaine dessiccation s'opérant nécessairement au front du chantier, par suite du contact avec un air fréquemment renouvelé et chaud, on doit admettre, pensons-nous, que la houille est saturée d'eau, aussi bien que les nerfs adjacents, dans l'intérieur des couches.

Les deux échantillons n° 1 et n° 2, soumis ultérieurement à une dessiccation artificielle prolongée pendant dix-huit heures sur un fourneau à gaz, de façon à éviter la distillation, ont accusé respectivement des poids de 94 grammes et de 103<sup>gr</sup>,8 qui, comparés à ceux de 97,9 et de 106, lesquels correspondent à la saturation, décèlent une proportion d'eau de 4 p. 100 dans le premier échantillon appartenant à la 3<sup>e</sup> couche, et de 2 p. 100 seulement dans le second, appartenant à la 6<sup>e</sup>.

Comme on le voit, la notion de l'eau de carrière comporte une extension : il y a aussi de l'eau de mine.

Avant de passer à un autre sujet, nous devons mentionner ici que M. Dunkel, contrôleur principal des Mines, nous a prêté son concours, de la façon la plus large, pour les pesées exécutées dans notre laboratoire, en vue de ces dernières recherches, et surtout pour celles, beaucoup plus nombreuses, relatives à la craie, au calcaire grossier et au gypse, dont nous avons précédemment donné le détail.

#### Essais de résistance exécutés à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, sur les pierres de taille sèches ou imbibées d'eau.

— Toutes les substances poreuses qui constituent l'écorce terrestre contiennent de l'eau ; et elles en sont saturées, si aucune cause particulière, comme la proximité du sol, que les rayons solaires tendent à dessécher, n'en provoque l'évaporation.

Dès lors, on peut déterminer la quantité maxima d'eau de carrière que peuvent contenir les différentes substances minérales, par des expériences de laboratoire, en comparant les poids successifs d'un échantillon sec et du même échantillon imbibé d'eau. Si la saturation n'est pas complète, lors de la pesée, l'erreur commise est minime, pourvu que l'immersion ait été prolongée pendant un jour ou deux.

Des déterminations de ce genre ont été faites par le *Service des essais et recherches statistiques sur les matériaux de construction*, annexé de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

Le *Répertoire des Carrières de pierre de taille exploitées en 1889*, publié par le Ministère des Travaux publics et dressé par les soins de MM. Durand-Claye et Debray, donne la résistance à l'écrasement par centimètre carré d'un très grand nombre de variétés de pierres de taille.

Pour ne parler que de ce qui concerne notre sujet, on y trouve la densité, à l'état sec et à l'état, sinon d'entière

NUMÉROS D'ORDRE	DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION des CARRIÈRES	NATURE ET GISEMENTS des PIÈRES DE TAILLE	POIDS MOYEN DU MÈTRE CUBE 5 sec. — M. imbricé de eau	NOMBRE D'ESSAIS	RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT par centimètre carré		EAU ABSORBÉE		RAPPORT DES DEUX RÉSISTANCES $\frac{R'}{R}$
						Minimum	Maxima	EN VOLUME — Nombre de litres par mètre cube	EN POIDS — p. 100 de la pierre sèche	
1	Aisne.	Carrière du Foie-Rouge ou du Château, commune de La Ferté-Milon.	<i>Id.</i>	2.391 S 2.418 M	2	784	799	27	1,13	0,84
2			<i>Id.</i> , 2° banc.	2.172 S 2.313 M	1	344	348	141	6,5	1,00
3		Commune de Vassens.	Vergé et banc royal (tertiaire-écène).	1.478 S 1.854 M	4	40	51	376	25,4	0,84
4		Commune de Colligés.	Calcaire blanc à grains fins (tertiaire-écène).	1.442 S 1.799 M	4	31	36	357	24,7	0,63
5		Commune de Sermoise.	Calcaire blanc à grains fins (tertiaire-écène).	1.155 S 1.834 M	4	31	45	379	25,6	0,95
6		Commune de Verzy.	Calcaire blanc jaunâtre à grains fins (tertiaire-écène).	1.501 S 1.857 M	4	43	47	356	23,8	0,90
7		Commune de Billy-sur-Aisne.	Calcaire blanc jaunâtre à grains fins (tertiaire-écène).	1.373 S 1.758 M	4	23	36	383	28,0	0,79
8		Commune de Crouy.	Calcaire blanc grisâtre à grains fins (tertiaire-écène).	1.565 S 1.756 M	4	39	50	252	16,1	0,62
9		Commune d'Aizy.	Calcaire à grains fins blanc jaunâtre (tertiaire-écène).	2.220 S 2.375 M	4	39	50	102	4,6	0,90
10		Commune de Laversine.	Calcaire coquillier, grain fin gris pâle (tertiaire-écène).	1.505 S 1.845 M	4	41	47	340	22,6	0,76
11		Commune de Ressous-le-Long.	Calcaire blanchâtre poreux à grains fins (tertiaire-écène).	1.634 S 1.913 M	4	74	91	279	17,1	0,74
12	Ardennes.	Commune de Dom-le-Ménil.	Calcaire jaune sablonneux, grain moyen (jurassique-oolithe inférieure).	1.820 S 2.076 M	6	55	72	256	14,1	0,76
13	Calvados.	Commune d'Allenagny.	Calcaire à grains fins jaune clair (jurassique-oolithe inférieure).	1.929 S 2.147 M	6	71	82	218	11,3	0,54
14		Communes de Caen, de Vieux et de Breteville-sur-Odon.	<i>Id.</i>	1.942 S 2.214 M	7	80	157	272	14,5	0,70
15		Commune de Saint-Pierre-Lanvet. <i>Id.</i>	Calcaire blanc à grains fins compact (jurassique-oolithe inférieure).	2.029 S 2.481 M	4	267	377	78	3,23	0,94
16			<i>Id.</i>	2.342 S 2.458 M	4	216	377	111	4,5	0,93
17	Charente.	Verrières, d'Aligoutéens et Verrières.	Calcaire crayeux blanc, durissant en surface.	1.838 S 2.052 M	12	60	86	175	10,5	0,78
18	Dordogne.	Commune de La Chapelle-Faucou.	Calcaire à rudistes, blanc laitieux (crétacé supérieur).	1.782 S 2.052 M	4	28	50	290	10,5	0,83
19		Commune de Chancelade.	Calcaire crayeux, distos, blanc laitieux (crétacé supérieur).	1.945 S 2.390 M	6	43	60	445	22,9	0,47
20	Eure.	Communes de Laumont.	Calcaire grisâtre à grains fins (crétacé supérieur).	1.815 S 2.061 M	6	129	175	246	13,5	0,65
21	Haute-Garonne.	Commune de Belbèze.	Calcaire marneux compact (crétacé supérieur).	2.226 S 2.355 M	4	372	440	129	5,8	0,79
22		Commune de Cassagne.	Calcaire gréseux, grain assez fin (tertiaire-écène).	2.050 S 2.200 M	6	92	103	114	7,0	0,62
23	Gironde.	Commune de Cénac.	Calcaire jaune friable, grain grossier (tertiaire-miocène).	1.575 S 1.844 M	16	20	46	287	18,4	0,80
24	Lot-et-Garonne.	Commune de Fumel.	Calcaire celluleux, durissant à l'air (crétacé supérieur).	1.913 S 2.083 M	8	63	95	170	8,9	0,78
25	Meuse.	Commune de Savonnières-en-Perthois.	Calcaire oolithique et coquillier (jurassique-oolithe supérieure).	1.876 S 1.879 M	199	37	201	203	12,1	0,76
26		Commune de Brauvilliers.	Calcaire oolithique vacuolaire (jurassique-oolithe supérieure).	1.809 S 2.033 M	18	65	154	227	12,6	0,80
27	Oise.	Commune de Laigueville.	Calcaire blanc jaunâtre à grains assez gros (tertiaire-écène).	1.632 S 1.917 M	15	56	85	288	17,7	0,67
28		Commune de Housseloy.	Calcaire blanc à grains fins (vergele) (tertiaire-écène).	1.565 S 1.813 M	7	35	65	307	20,4	0,61
29		Commune de S-Maximin.	Calcaire blanc, roche (tertiaire-écène).	2.285 M 2.460 M	4	184	322	167	7,9	0,96
30		<i>Id.</i>	Calcaire blanc, banc royal (tertiaire-écène).	1.722 S 1.960 M	14	82	118	238	13,8	0,69
31		Commune de Sentlis.	Calcaire blanc, grain très fins (tertiaire-écène).	2.407 S 2.504 M	7	684	1140	97	4,5	0,87
32	Sardie.	Commune de Villaines-la-Carelle.	Calcaire blanc grisâtre, grains très fins (tertiaire-écène).	1.737 S 1.992 M	8	48	93	225	13,0	0,82
33	Vaudouze.	Commune de Ménerbes.	Calcaire oolithique crayeux (jurassique-oolithe inférieure).	1.807 S 1.807 M	3	44	60	224	13,4	0,82
34		Commune d'Oppédes.	Calcaire blanc un peu crayeux (tertiaire-miocène).	1.694 M 1.865 S	4	51	71	274	14,7	0,85
35	Yonne.	Commune de Charentenay.	<i>Id.</i>	1.895 M 1.906 S	4	128	138	290	15,2	0,90
36		Commune de Courson.	Calcaire oolithique un peu crayeux (jurassique-oolithe moyenne).	1.888 S 2.163 M	4	165	194	271	14,3	0,78
37		Commune de Merry-Sec.	Calcaire oolithique un peu crayeux (jurassique-oolithe moyenne).	1.843 S 2.092 M	10	91	109	249	13,5	0,77
38		Commune de Molesmes.	Calcaire oolithique un peu crayeux (jurassique-oolithe moyenne).	1.846 S 2.116 M	12	83	132	270	14,6	0,79
39		Commune de Tainy.	<i>Id.</i>	1.846 S 2.082 M	7	90	100	247	13,4	0,78
40		Commune de Cravant.	<i>Id.</i>	1.863 S 2.080 M	4	120	167	226	12,1	0,62
41		Commune de St-Vincent.	<i>Id.</i>	1.789 S 2.055 M	4	60	106	209	15,1	0,77

saturation, du moins d'imbibition prolongée, de 41 pierres calcaires provenant des carrières de 14 départements, et la résistance correspondante.

Nous avons extrait ces dernières indications du *Répertoire*, et nous les avons réunies dans le tableau ci-dessus, que nous croyons utile de publier, en y ajoutant : 1° la proportion d'eau en volume et en poids, que les pierres soumises aux essais ont absorbée; 2° le rapport de la résistance moyenne qu'elles ont offerte à l'écrasement, dans les deux états d'imbibition et de siccité naturelle.

Dans ces essais, la dessiccation avait lieu à une température comprise entre 30 et 40° C.

**Observations sur la densité, la porosité, la résistance des pierres de taille.** — La lecture de ce tableau suggère différentes observations.

Bien que toutes les pierres de taille soumises aux essais aient sensiblement la même composition chimique, puisqu'elles sont constituées par du carbonate de chaux, en négligeant les impuretés qui s'y trouvent mêlées en petite quantité, leur densité diffère considérablement, et en même temps, mais en sens contraire, leur porosité ou bien la quantité d'eau qu'elles absorbent, si l'on veut s'exprimer plus exactement.

Ainsi, pour ne prendre que les extrêmes, le calcaire à grains très fins de Senlis (Oise), qui pèse 2.407 kilogrammes par mètre cube, n'a absorbé, lors des essais, que 97 litres d'eau par mètre cube ou 4,5 p. 100 de son poids, tandis que le calcaire de Billy-sur-Aisne (Aisne) à grains fins, pesant seulement 1.373 kilogrammes, a absorbé 383 litres d'eau, soit 28 p. 100.

D'ailleurs, la craie de Chancelade (Dordogne) pesant bien davantage (1.945 kilogrammes) a montré un pouvoir absorbant exceptionnel de 445 litres en volume, auxquels correspond un poids proportionnel de 22,9 p. 100

de la craie sèche. C'est que la craie, comme on l'a vu précédemment, a tout particulièrement le don d'absorption.

Les chiffres extrêmes relatifs à la proportion d'eau qu'ont absorbée les pierres de taille soumises à ces essais sont les suivants : 4,13 p. 100 (calcaire de La Ferté-Milon) et 28 p. 100 (pierre de Billy-sur-Aisne précédemment citée). Beaucoup de ces pierres ont absorbé plus de 10 p. 100 d'eau.

Si l'on calcule la moyenne des 41 résultats inscrits dans l'avant-dernière colonne du tableau, on obtient le chiffre de 14 p. 100.

— La résistance à sec offre un lien évident avec la densité. La pierre de Senlis résiste à la pression de 885 kilogrammes par centimètre carré; mais c'est là un chiffre exceptionnellement élevé. Le calcaire de Saint-Pierre-Canivet (Calvados), qui pèse presque autant (2.403 kilogrammes), et qui n'absorbe que 3,2 p. 100 d'eau, s'écrase sous 323 kilogrammes; la craie de Chancelade, sous 155; le calcaire de Billy-sur-Aisne, sous 38; et, de même, celui de Sermoise, qui pèse 1.455 kilogrammes par mètre cube, c'est-à-dire un peu plus que le précédent.

D'une façon générale, la résistance à sec croît très vite avec la densité.

La progression n'est pas celle qu'ont indiquée Claudel et Laroque (*Pratique de l'art de construire*), au dire desquels la résistance serait proportionnelle au cube de la densité. Un examen détaillé que nous avons fait de la série des essais consignés dans le *Répertoire* nous permet de conclure qu'elle augmente beaucoup plus rapidement.

— Quant à la diminution de résistance occasionnée par l'imbibition, elle n'est pas aussi variable qu'on pourrait le supposer.

Nous avons inscrit dans le tableau qui précède le rapport de la résistance de la roche imbibée d'eau à celle de

la roche sèche. Ce rapport est le plus souvent de 0,75 à 0,80, et la moyenne générale est de 0,77. Pour la craie de Chancelade, par exception, il tombe à 0,47. Rappelons, enfin, que nous l'avons trouvé de 0,25 pour la craie du bassin de Paris qu'il faut mettre à part.

Le plus souvent ce sont les pierres tendres, dont la densité est la moindre, qui présentent, à l'état d'imbibition aqueuse, la plus grande diminution de résistance à l'écrasement; mais ce n'est point là une règle absolue, autant qu'on peut en juger par les essais dont nous venons de nous occuper.

Somme toute, on reconnaît que les roches calcaires les plus denses, et nous pensons qu'il vaudrait mieux dire les plus dures, les plus difficiles à rayer, si les expériences ne faisaient pas défaut à cet égard, c'est-à-dire celles qui sont naturellement les moins poreuses, absorbent le moins d'eau. Ce sont les mêmes qui présentent la plus grande résistance. Toutefois il intervient dans la question d'autres facteurs que la densité, tels que le degré de pureté, d'agrégation et d'homogénéité des roches, de sorte que l'échelle des densités diffère assez souvent de celle de la porosité et de celle de la résistance.

## DEUXIÈME PARTIE.

### Considérations physiques et géologiques.

Il est certain que toutes les roches contiennent de l'eau, en quantité variable suivant leur structure. Nous avons essayé de montrer qu'on les en trouve saturées quand on descend dans les entrailles de la terre. Mais le petit nombre des expériences exécutées à ce sujet et

la faible étendue des régions dans lesquelles elles ont été opérées ne permettraient pas de généraliser les résultats que nous avons obtenus et d'ériger en principe que l'écorce du globe est saturée d'eau hygrométrique, si cette saturation ne se trouvait confirmée par les considérations auxquelles on peut se livrer touchant la circulation des eaux souterraines et les conditions de la formation des couches sédimentaires.

Il est bon de préciser tout d'abord les notions les plus essentielles concernant la porosité et la perméabilité, en tenant compte des recherches effectuées sur l'eau d'imbibition ou sur l'eau de carrière des roches.

**Porosité.** — Les molécules constituantes des corps solides ne sont pas jointives : elles sont séparées les unes des autres par des intervalles, comme le prouvent la dilatation ou bien inversement la contraction qui accompagnent les variations de la température. Toutefois, ce ne sont pas ces intervalles, excessivement petits, qui composent les pores et qui sont susceptibles de devenir le réceptacle de liquides imbibés. Les pores des corps solides forment un réseau d'un autre ordre de grandeur.

Leur existence se constate d'une façon si générale qu'on est surpris de voir le verre présenter une exception et se montrer impénétrable non seulement par les liquides, mais encore par les gaz, pour la plus grande commodité des chimistes.

Les ingénieurs des Ponts et Chaussées, envisageant la question à un point de vue pratique, définissent la porosité par le volume de l'eau que les pores sont susceptibles d'absorber. Si l'on consulte, en effet, les *Rapports de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction*, instituée par un décret du 9 novembre 1891, on y lit : « La porosité d'une pâte ou d'un mortier a pour mesure le rapport du volume des vides que présente

cette pâte ou ce mortier, au volume apparent total, le vide comprenant le volume occupé par l'eau d'imbibition et par l'eau hygrométrique à l'exclusion de l'eau de combinaison, qui fait évidemment partie du plein (\*). »

Pour obtenir l'imbibition complète des éprouvettes, la Commission préconise soit l'emploi du vide qui permet d'arriver rapidement à une élimination presque complète de l'air logé dans les pores, avant de pratiquer l'immersion, soit celui de l'eau bouillante grâce à laquelle les bulles d'air se dilatent et se dégagent. Elle fait d'ailleurs remarquer que, quelle que soit la durée de la dessiccation de l'éprouvette à l'air ambiant, l'eau hygrométrique (qui occupe 6 à 7 p. 100 du volume total dans les mortiers de ciment) ne peut être éliminée, de sorte que le remplissage des pores par l'air est imparfait. Cet inconvénient est atténué quand on recourt à l'étuve ; néanmoins, il subsiste quelque incertitude sur les chiffres exprimant la porosité.

**Relation théorique entre la porosité et la densité.** —

Il existe entre la porosité d'une substance et sa densité une relation théorique très simple que nous allons établir.

Si l'on désigne par  $v$  le volume total des pores compris sous l'unité de volume d'un corps solide, par  $D$  sa densité à l'état naturel, par  $\Delta$  la densité du même corps supposé réduit à l'état où sa compacité est à son maximum, on a nécessairement l'égalité :

$$(1 - v) \Delta = D,$$

dans laquelle le premier terme représente le poids de la matière compacte occupant le volume  $1 - v$ .

D'où :

$$v = 1 - \frac{D}{\Delta}.$$

(\*) Rapport général: Matériaux autres que les métaux, t. 1; 1894.

Cette formule montre que la porosité augmente à mesure que la densité  $D$  diminue.

Il est à remarquer qu'elle ne cesse pas d'être vraie si  $\Delta$  représente la densité d'une substance fortement agrégée, mais cependant plus ou moins éloignée de son maximum de compacité. Alors  $v$  exprime non la porosité totale, mais un degré de porosité relatif.

**Porosité partielle, mesurée par le volume de l'eau d'imbibition.** — Si l'on consulte le tableau, précédemment donné, des expériences qui ont été exécutées au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées sur les pierres de taille, on constate que, dans l'ensemble, quoique d'une façon assez souvent irrégulière, le volume d'eau imbibée va en augmentant si l'on considère les pierres essayées, en allant des plus denses aux plus légères.

Le volume par mètre cube de l'eau d'imbibition qu'on a constaté pour ces diverses pierres représente seulement une fraction de la porosité, comme on peut aisément s'en assurer.

En effet, si l'on calcule, au moyen de la formule  $\Delta = \frac{D}{1 - v}$ , la densité  $\Delta$  du *plein*, c'est-à-dire de la partie impénétrable à l'eau, pour la série des pierres dont le tableau fournit le volume d'eau imbibée, on trouve que cette densité oscille autour de 2,50.

Elle est moindre dans les pierres légères ; ainsi elle ne dépasse pas 2,225 pour le calcaire de Billy-sur-Aisne. Au contraire, elle est plus grande dans les pierres lourdes, comme la pierre de Senlis où elle atteint 2,66. Mais elle demeure, dans tous ces calcaires, inférieure à la densité du spath-fluor (2,73) ou du marbre (2,8 à 2,9) qui sont les roches, de composition analogue, connues comme étant les plus compactes.

**Porosité complémentaire de second ordre.** — Il suit de là qu'il doit exister dans ces pierres des pores de diverses grandeurs, les uns susceptibles de s'imbibber d'eau, les autres imperméables à ce liquide, et que deux réseaux de pores peuvent être distingués sous le rapport de la faculté d'imprégnation : l'un de premier ordre, l'autre de second ordre.

Au premier correspond la porosité pour l'eau, telle que les recherches précédentes permettent de la déterminer.

Le second se compose de pores trop petits pour que les vésicules aqueuses puissent s'y loger à la pression ordinaire. Ils renferment sans doute des gaz, en général; mais on ne sait pas si l'eau pourrait être amenée à les remplacer entièrement, même en usant du vide d'abord, des pressions les plus fortes ensuite.

Pour les calcaires légers, le fait que la densité du *plein* (de la partie imperméable) est faible et qu'en même temps l'absorption d'eau est grande, semble démontrer que les deux réseaux de pores dont nous venons de parler sont à la fois très développés dans ces pierres. En dehors des pores aquifères, elles doivent être criblées d'une multitude de pores extrêmement fins, et c'est à cette particularité qu'elles doivent sans doute d'être tendres, ce qui veut dire faciles à rayer, et de fournir par le broyage une poudre très fine.

Les pierres poreuses contiennent donc, pour ainsi dire, un *squelette* imperméable à l'eau, dont la densité et la finesse des pores doivent éprouver des variations plus ou moins grandes. Suivant que ces pierres sont tirées d'une localité ou d'une autre, suivant qu'elles appartiennent à telle ou telle formation géologique, suivant qu'elles sont imprégnées de plus ou moins de sable, d'argile, d'oxyde de fer, etc., le volume des pores aquifères et le volume complémentaire des pores non aquifères présentent un développement différent. On s'explique ainsi les diver-

gences qui peuvent se manifester dans les propriétés physiques de roches très analogues sous le rapport de leur densité apparente, et qui sont de nature à dérouter l'expérimentateur.

**Perméabilité.** — La perméabilité d'une substance est la facilité qu'elle présente à se laisser traverser par un liquide ou par un gaz. La pression exerce sur cette propriété un pouvoir d'accroissement bien connu.

Pour qu'un corps solide soit perméable, il faut d'abord qu'il soit poreux; mais il peut être imperméable, tout en étant poreux. La perméabilité et la porosité ne vont pas de pair, et sont, dans une certaine mesure, indépendantes l'une de l'autre.

Ainsi, comme les ingénieurs des Ponts et Chaussées l'ont constaté dans les ports, l'eau de mer détruit, en s'y infiltrant, des mortiers imperméables dont la destruction même démontre la porosité.

La perméabilité est inverse de la résistance à la circulation interne. Cette résistance est en rapport avec la ténuité des vaisseaux capillaires; elle dépend, en outre, du degré d'adhérence du liquide filtrant avec les parois de ces vaisseaux.

L'argile, qui est très poreuse, devient imperméable une fois qu'elle est saturée d'eau; c'est parce qu'étant à grains extrêmement fins elle retient l'eau fortement. L'attraction capillaire est tellement puissante qu'elle ne permet pas à ce liquide de se déplacer, quand il remplit le réseau des pores, assimilable à une série de tubes de très petit diamètre.

Finalement on peut, semble-t-il, définir comme il suit le rôle que joue la dimension des pores dans le phénomène dont il s'agit.

Si les pores sont relativement grands, l'eau y pénètre et s'y déplace facilement : c'est le cas des corps très per-

méables. S'ils sont petits, ou bien l'eau n'y pénètre pas; ou bien, après y avoir pénétré, elle s'y trouve retenue par l'effet de la capillarité, et la filtration ne se produit pas : de toute façon le corps est imperméable dans ce cas, quel que soit son degré de porosité.

Enfin, dans certaines substances, les pores ont des dimensions et un arrangement tels que la circulation de l'eau y est difficile, mais non impossible, et qu'elle peut être activée par l'effet d'une pression plus ou moins considérable.

La distinction des corps en perméables et imperméables, par rapport aux liquides ou bien aux gaz, a pour analogue leur division en corps transparents et en corps opaques, par rapport à la lumière, mais dans un autre ordre de grandeur.

L'épaisseur à traverser joue un rôle dans les deux cas : elle augmente la résistance à la circulation interne. Si les métaux eux-mêmes sont perméables, à l'état de plaques très minces, comme l'a fait voir la vieille expérience des académiciens de Florence, ils perdent cette propriété dès que l'épaisseur est sensible. Les chaudières à vapeur à haute pression en fournissent la meilleure preuve.

**Terrains filtrants.** — Nous avons essayé de faire comprendre que la perméabilité et la porosité sont des propriétés de la matière généralement indépendantes l'une de l'autre. Il en est surtout ainsi, lorsqu'il s'agit des bancs naturels qui composent les terrains et qui sont constitués par des particules, d'inégale grosseur, imparfaitement agrégées. Ces particules ne se trouvant pas en contact sur tous les points, on conçoit qu'il existe nécessairement entre elles des vides ou interstices communiquant les uns avec les autres et formant un réseau de canaux. Ce réseau fonctionne à côté de celui que forment les pores proprement dits : il offre une facilité beaucoup plus grande à la cir-

culatation de l'eau, sinon à son absorption et à sa rétention.

Les bancs de sable sont, pour ce motif, le type le plus parfait des terrains perméables ou, pour employer une expression caractéristique, des terrains filtrants. Ils sont susceptibles d'absorber les liquides abondamment, et se laissent aisément traverser par eux.

Si un banc perméable repose sur une couche argileuse imperméable, les liquides qu'il laisse filtrer ne remplissent pas seulement les pores, mais encore les interstices; le terrain n'est plus seulement humide, mais mouillé. Il s'y forme en effet une nappe, qui s'élève ou s'abaisse suivant l'importance relative de l'afflux et du débit des liquides.

Certains grès jouissent de la même propriété : les eaux d'infiltration, qui y circulent, y creusent lentement leur lit, en dissolvant le carbonate de chaux, grâce à l'oxygène de l'air qu'elles contiennent et qui se renouvelle par leur circulation même. Il se produit ainsi, à la longue, des cavités souterraines, qui facilitent l'écoulement des eaux dans des directions déterminées et généralement suivant le thalweg de la couche imperméable sous-jacente.

La propriété filtrante peut résulter encore d'une cause toute différente, nous voulons parler des fentes existant en grand nombre dans beaucoup de grès et de calcaires.

**Faible perméabilité des bancs calcaires continus.** — En l'absence de ces fentes, ou lorsque celles-ci sont bouchées par des terres argileuses, les calcaires sont, en général, fort peu perméables. Les carrières souterraines ouvertes dans le calcaire grossier du bassin de Paris en fournissent des preuves très nombreuses.

Le ciel des galeries, lorsqu'il n'a pas été disloqué par l'exploitation, ne laisse pas filtrer les eaux superficielles; dans le cas contraire, ces eaux s'accablent sur le sol un peu marneux des chantiers, sur plusieurs décimètres de

hauteur. Elles ne pénètrent que très lentement dans les bancs calcaires inférieurs, et l'on est obligé, pour s'en débarrasser, de forer à travers ces bancs des trous de sonde, de plusieurs mètres de profondeur, de façon à atteindre le calcaire sableux qui forme la base de la formation et dans lequel on trouve, en contact avec l'argile plastique, la grande nappe d'infiltration du bassin de la Seine, à Paris.

On a vu, par les expériences précédemment citées, que le calcaire grossier est assez poreux, qu'il se laisse pénétrer par l'eau, quand on l'immerge dans ce liquide, et qu'il s'en sature complètement au bout d'un certain nombre de jours. On ne peut donc expliquer la résistance que les bancs de ce calcaire opposent à l'infiltration et à l'écoulement des eaux contingentes que par le fait même de leur saturation hygrométrique, au sein de la terre.

**Cycle aquifère.** — Il est difficile de se représenter les couches qui forment l'écorce du globe, à partir d'une certaine profondeur, autrement que comme saturées d'humidité.

Examinons d'abord ce que deviennent les eaux pluviales tombant sur la terre.

Une partie, qui est plus ou moins grande suivant la composition minéralogique du sol et du sous-sol, suivant la déclivité du terrain, suivant la nature et l'abondance de la végétation, s'écoule à la surface, forme les ruisseaux, les rivières, les fleuves et se rend directement dans la mer.

Une seconde partie s'évapore soit sur place, soit dans le trajet dont il s'agit.

Une troisième sert à la nutrition des plantes.

Le reste s'infiltré dans le sol et s'y accumule, à différents niveaux, au contact des couches imperméables, pour s'écouler ensuite au jour, sous forme de sources, et participer à son tour à l'alimentation des cours d'eau et fina-

lement de la mer, après avoir accompli un trajet souterrain plus ou moins étendu.

Il y a là un cycle, un enchaînement de phénomènes, toujours les mêmes : évaporation des eaux superficielles, à la surface des mers ou des terres, par l'action des rayons solaires; transport de ces eaux à travers l'atmosphère sous forme de nuages, de brumes ou de vésicules invisibles; condensation, à la suite d'un abaissement de température; chute (sous forme de pluie le plus souvent) et retour à la mer après un véritable voyage qui s'effectue soit à la surface des terres émergées, en suivant le thalweg des vallées, soit souterrainement à travers les couches perméables de l'écorce du globe.

Si l'on met à part les pluies qui tombent directement dans la mer, on voit que les eaux enlevées aux océans par évaporation accomplissent indéfiniment un double trajet semi-aérien, semi-terrestre, pour retourner à l'immense réservoir dont elles se sont, pour un temps, détachées. Tel est le mécanisme bien connu du cycle aquifère.

**Nappes d'eau souterraines.** — Les nappes d'eau reposent sur des couches imperméables, en général ondulées comme le sont le plus souvent les couches sédimentaires; leur surface suit les inflexions de ces dernières.

Elles remplissent des bassins. Ceux-ci reçoivent les eaux pluviales principalement sur leurs bords, à l'affleurement des bancs perméables, et accessoirement par des fissures qui traversent les terrains de recouvrement dans bien des cas.

Les eaux de ces nappes forment un volume considérable par rapport au débit quotidien des sources qui en jaillissent, de sorte qu'elles sont sinon dormantes, du moins animées de mouvements de translation imperceptibles, dans leur ensemble. Moins les sources sont nombreuses, moins elles sont abondantes dans un bassin aquifère, par

rapport au volume des eaux qui y sont rassemblées, plus leur débit est constant.

Dans les régions dont le sol est constitué par des sédiments, on rencontre d'ordinaire une série de nappes superposées, qui sont tantôt parallèles, tantôt divergentes, suivant la constitution géologique du sol.

#### Débit des niveaux d'eau traversés par les puits des mines.

— On a observé maintes fois, en creusant les puits des mines, principalement dans les bassins houillers, que le débit des nappes est considérable, lorsqu'on les recoupe à de grandes profondeurs, ce qu'expliquent la grande étendue des bassins, ainsi que la forte pression hydrostatique des eaux souterraines.

Quelques chiffres permettront de se rendre compte de l'importance de la nappe aquifère qu'on rencontre dans les morts terrains sous lesquels s'étend le terrain houiller du Pas-de-Calais, que nous prenons pour exemple.

Dans la concession de Dourges, le fonçage du puits de la fosse Hély d'Oissel, commencé en 1857, a rencontré vers 50 mètres de profondeur une venue d'eau de 17.000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Dans celle de Courrières, le puits de la fosse Mathieu, foncé de 1872 à 1877, a traversé des terrains qui restèrent mauvais jusqu'à 35 mètres au-dessous du jour, et la venue d'eau a atteint 37.000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Un puits en fonçement dans la même concession, à la fosse n° 9, a rencontré, en 1892, une venue d'eau de 52.000 mètres cubes par vingt-quatre heures, vers 30 mètres de profondeur.

Dans la concession de Lens, la venue d'eau a été de 21.000 mètres cubes par jour, dans le fonçement du puits de la fosse Sainte-Élisabeth, de 48.000 dans celui du puits de la fosse Saint-Théodon, de 60.000 dans le puits de la fosse

Saint-Antoine, et de même importance dans le puits n° 10, de la fosse Saint-Valentin. Pour permettre la traversée du niveau et la poursuite du fonçement de chacun de ces deux derniers, l'épuisement a nécessité des machines développant un millier de chevaux-vapeur.

On sait que, pour obvier à l'inondation des chantiers d'extraction, nombre de mines sont pourvues de machines d'exhaure d'une grande puissance. Malgré le cuvelage des puits, de l'eau pénètre dans beaucoup de mines et doit être amenée au jour. Pendant l'année 1894, toujours dans le bassin houiller du Pas-de-Calais, les quantités d'eau extraites par les pompes installées dans les fosses en exploitation se sont élevées à 5.782.000 mètres cubes, soit 1.584 mètres cubes par jour. Dans la fosse n° 1 des houillères de Bruay, où l'affluence des eaux se montre plus considérable que dans les autres mines du département, on a récemment installé, au niveau de 340 mètres, une pompe souterraine pouvant élever 3.000 mètres cubes par jour.

Pendant la même année, dans le bassin de la Loire (Saint-Étienne et Rive-de-Gier), on a épuisé 7.608.000 mètres cubes d'eau, formant un poids supérieur à celui de la houille extraite.

Il est intéressant de rapprocher du débit de ces sources souterraines, celui des sources naturelles qui subviennent à l'alimentation de Paris.

La Vanne, la Dhuis et l'Avre fournissent ensemble un volume quotidien d'environ 150.000 mètres cubes. La principale de ces rivières, la Vanne, donne 96.000 mètres cubes par jour; c'est le produit de sources assez nombreuses dont elle recueille les plus importantes dans la partie moyenne de son cours, sur plus de 20 kilomètres, et à des niveaux différents. La moitié environ du débit total est dû à trois sources hautes qui pénètrent directement dans l'aqueduc collecteur. La Dhuis n'a qu'une

source principale, dont le débit est de 18.000 à 20.000 mètres cubes par jour.

Les venues d'eau souterraines, qui peuvent se faire jour dans les puits de mine, équivalent à des rivières.

**Hauteur annuelle des eaux pluviales.** — Les observations météorologiques ne sont pas encore assez répandues pour nous permettre de connaître la quantité d'eau qui tombe, chaque année, à la surface de l'Ancien et du Nouveau-Continent.

A Paris, d'après les constatations faites par le service météorologique du parc de Montsouris pendant dix-huit années, de 1876 à 1894, la hauteur annuelle de la pluie dans ce parc forme une moyenne de 0<sup>m</sup>,551. Pour la France entière, d'après des documents moins récents, cette hauteur a été évaluée diversement : à 0<sup>m</sup>,68 par M. Martins, à 0<sup>m</sup>,75 par M. de Gaspari, à 1 mètre par M. Puvis.

En Angleterre, on admet généralement que l'eau tombée atteint 0<sup>m</sup>,646 dans les contrées de l'Est et du Centre, et 0<sup>m</sup>,931 en moyenne dans ceux de l'Ouest.

Sans creuser davantage cette question, on voit qu'une superficie de 1 hectare reçoit annuellement, dans notre pays, de 6.000 à 10.000 mètres cubes d'eau de pluie qui s'infiltreront dans le sol en majeure partie et y entretiennent l'humidité.

**Saturation hygrométrique de l'écorce du globe.** — L'écorce du globe est recouverte par la mer sur les quatre cinquièmes de sa superficie. Le dernier cinquième est formé de terrains émergés dans lesquels les eaux pluviales pénètrent en grande quantité et alimentent de vastes filtres souterrains à différents niveaux.

Dans ces conditions on ne voit pas comment les bancs qui constituent cette écorce pourraient ne pas avoir leurs

pores imbibés d'eau jusqu'à saturation, après les milliers de siècles pendant lesquels les mêmes phénomènes ont constamment eu lieu.

1° *Terrains émergés.* — Considérons d'abord les terrains émergés.

Une partie des eaux pluviales, qui pénètre dans la terre lorsqu'elle y rencontre des interstices de dimension suffisante, descend rapidement jusqu'à une couche imperméable sur laquelle elle s'accumule. Une autre partie s'infiltré plus lentement par les voies capillaires, et remplit les pores des roches. Son mouvement s'effectue non seulement suivant la verticale, mais encore latéralement. L'imbibition progresse dans tous les sens, à mesure de l'arrivée de nouvelles quantités d'eau. Elle se poursuit à travers les roches de toute nature, perméables ou non, avec plus ou moins d'abondance et de rapidité, suivant le volume que les pores présentent, la contexture de leur réseau, en un mot la faculté d'absorption.

Qu'on nous permette d'insister sur ce sujet.

Les eaux descendantes, provenant directement de la surface, ne sont pas seules à produire l'imbibition de l'écorce. Celles des nappes souterraines, horizontales, obliques ou sinueuses, y contribuent pour leur part. Dans le sens vertical elles s'élèvent dans les bancs supérieurs jusqu'à une certaine hauteur limite, qui dépend du diamètre des vaisseaux capillaires, en suivant plus ou moins la loi de Jurin. Mais, en outre, elles se propagent, ou, si l'on veut, se diffusent en différents faisceaux. L'alimentation étant continue, leur propagation dans le sens horizontal, qui n'est pas contrariée par la pesanteur, se continue à toute distance, jusqu'à ce que les pores aient absorbé toute l'eau qu'ils sont susceptibles de retenir.

Dans son *Traité de Géologie*, M. de Lapparent s'est rendu compte de l'imbibition due aux eaux pluviales. « A mesure qu'elles s'enfoncent, écrit-il, elles deviennent de

moins en moins accessibles à l'évaporation, et les parties de l'écorce situées à une certaine profondeur ne peuvent donc manquer, à la longue, de se saturer d'eau. »

Il convient de préciser davantage et de restreindre la conclusion à l'eau capillaire, à l'humidité.

On rencontre en effet, dans les profondeurs de la terre, des grottes, des cavités de grandeur quelconque, de simples cellules, qui sont vides. Lorsqu'elles se trouvent, par leur situation, en contact avec la partie supérieure d'une nappe aquifère, elles se remplissent d'eau et se vident alternativement, suivant que la nappe elle-même se gonfle ou se dégonfle sous l'action des pluies ou de la sécheresse.

Quand des bancs de sable d'une certaine épaisseur reposent sur des argiles imperméables, leurs assises inférieures servent de réceptacle à une nappe aquifère, et c'est pour les atteindre qu'on fore les puits absorbants, tandis que les supérieures demeurent susceptibles d'admettre plus ou moins d'eau. Toutefois, ces assises supérieures, qui ne sont pas saturées d'eaux vives, le sont d'eau hygrométrique. Il y a là une distinction qu'il importe de faire.

L'eau hygrométrique, dont les pores des roches sont saturés, n'est pas formée de filets continus; aussi est-elle caractérisée par l'absence de circulation et de pression hydrostatique appréciables. C'est là ce qui la différencie des eaux libres.

2° *Terrains immergés.* — Si l'on considère maintenant les terrains recouverts par la mer, on comprend qu'ils sont *a fortiori* saturés d'humidité. S'ils ne l'étaient pas depuis les temps les plus reculés, la mer continuerait à s'y infiltrer par le fond comme par les parois latérales de sa cuvette, avec une énergie allant en augmentant avec la profondeur; et l'on sait que d'immenses vallées marines sont recouvertes par des masses d'eau salée formant, au

point de vue hydrostatique, des colonnes de plusieurs kilomètres de hauteur. D'après les cartes de Maury, directeur de l'Observatoire de Washington, l'Océan Atlantique a une profondeur moyenne d'environ 5.000 mètres. Dans la Méditerranée, dont la cuvette est bien moins profonde, en général, la sonde a atteint 4.600 mètres, à 165 kilomètres à l'est de Malte. Dans l'Océan Pacifique plusieurs observateurs, entre autres le lieutenant Broocke, ont reconnu des profondeurs de 5 et 6 kilomètres.

On peut juger par là de la force avec laquelle l'eau marine tend à s'infiltrer dans l'écorce du globe. Comment, en conséquence, les parties de cette écorce baignées par les mers, toutes celles qui sont situées au-dessous de leur niveau, à une suffisante profondeur, pourraient-elles ne pas être saturées?

**Saturation des terrains sédimentaires à l'époque de leur dépôt.** — Une autre considération vient corroborer le principe de la saturation. Elle est tirée de la façon dont cette écorce s'est constituée au cours des âges géologiques.

Le noyau de la terre, pour ne parler que de sa partie solidifiée, est composé de roches dites éruptives; et celles-ci sont recouvertes, sur la majeure partie de leur étendue, par des roches sédimentaires, par des dépôts lacustres ou marins.

Les bancs calcaires, marneux, argileux, siliceux, que nous voyons aujourd'hui constituer les reliefs du globe, se sont formés sous l'eau: ils sont composés de matières diverses, principalement calcaires, qui se sont lentement déposées et agglutinées au fond des mers ou bien des lacs préhistoriques. Leurs pores ont nécessairement gardé, lors de ce dépôt, toute l'eau qu'ils pouvaient contenir. Il suit de là que les couches sédimentaires ont toutes été saturées d'eau à l'époque de leur formation. A mesure que de nouveaux dépôts se sont superposés aux précé-

dents, les bancs ont augmenté d'épaisseur et l'eau contenue dans leurs pores s'est conséquemment trouvée de mieux en mieux emprisonnée.

Il a pu se produire plus tard des perturbations géologiques, des dénivellations, à la suite desquelles des parties des couches considérées ont émergé; et alors l'eau primitivement absorbée a commencé à s'évaporer, à partir du sol. Mais la dessiccation n'a pu s'opérer que dans les couches superficielles, étant donné le jeu des infiltrations d'eaux pluviales.

Le rôle de ces dernières n'a pas été généralement, comme on le voit, d'imbibber des couches originairement sèches, mais plutôt de s'opposer aux progrès de la dessiccation de sédiments déjà humides.

**Limite de dessiccation.** — En conséquence, on le comprend bien, on trouve la terre imprégnée d'humidité, dès qu'on la creuse à une petite profondeur, comme chacun l'a vérifié; et on ne tarde pas, en descendant plus bas, à atteindre la zone de saturation qui ne peut manquer d'exister. On y pénètre dès qu'on a franchi la limite de la dessiccation.

La profondeur à laquelle se trouve cette limite n'est pas fixe. Elle varie nécessairement avec les saisons, avec le climat, avec la nature du sol et du sous-sol, etc...

Il est bien possible qu'elle n'excède pas de beaucoup la profondeur à laquelle atteignent les racines des arbres. Mais nous manquons de données précises à ce sujet.

**Origine marine du chlorure de sodium contenu dans les eaux des sources et des rivières.** — Une observation incidente, mais d'une portée générale, trouve ici sa place.

Nous avons exposé que les dépôts formés sous l'eau retient, au moment où les substances solides dont ils se composent s'agglutinent, une partie de l'eau mère qui

se loge dans leurs pores. Il suit de là que les sédiments d'origine marine doivent contenir des traces des sels dissous dans l'eau de mer, notamment du chlorure de sodium.

L'eau de la Méditerranée, par exemple, contient moyennement 32 kilogrammes de chlorures renfermant 20<sup>te</sup>,4 de chlore par mètre cube. Par conséquent, une roche calcaire marine, pesant environ 1.900 kilogrammes par mètre cube, à l'état sec, et qui absorberait à saturation le quart de son volume d'eau, conformément aux données de l'expérience, renfermerait à peu près 5 kilogrammes de chlore, soit 2 1/2 millièmes de son poids, en supposant qu'elle absorbe exactement l'eau de mer comme l'eau douce. La quantité originaire des chlorures que contiennent les roches marines à l'époque de leur formation se réduit ultérieurement par la lixiviation causée par les eaux de pluie dans les couches superficielles de l'écorce; elle devient là si minime qu'il n'y a pas lieu de s'étonner qu'elle n'ait pas été signalée par les chimistes.

Toutefois, la présence du sel marin dans les sols arables est bien connue des agriculteurs. Tous les végétaux en contiennent des traces, et ils ne peuvent le puiser que dans la terre ou bien dans les eaux.

Ces dernières empruntent elles-mêmes principalement à la terre les substances salines qu'elles renferment.

En effet, les eaux pluviales qui filtrent dans le sol se chargent de petites quantités de sel marin. L'eau des sources et celle des fleuves et des rivières, si on les soumet à l'analyse chimique, décèlent la présence des chlorures de sodium et de magnésium, en quelque lieu qu'on les prélève.

C'est ainsi que, d'après de nombreuses recherches exécutées à l'Observatoire du parc de Montsouris (\*) sur la

(\*) *Annuaire de l'Observatoire municipal de Montsouris, pour l'année 1897*, p. 440.

qualité des eaux potables qui alimentent Paris, eaux qui sont plus ou moins souillées par les matières usées provenant de la nutrition — mais cela importe peu au point de vue de l'origine première des chlorures, — l'eau de la Vanne amenée à Paris renferme moyennement, par mètre cube, 5 grammes de chlore; l'eau de la Dhuis, 7; l'eau de l'Avre, 12; sans parler du sodium et du magnésium dont le poids total est un peu inférieur à celui du chlore. De même, l'eau de la Marne contient 6 grammes de chlore; la Seine, 7; l'Ourcq, 10.

Si minime qu'elle soit, la salure des cours d'eau et des sources ne laisse donc pas d'être appréciable.

**Cycle salin.** — A la suite de leur lixiviation continue par les eaux pluviales, les couches supérieures du sol sembleraient devoir s'appauvrir progressivement, de façon à ne plus renfermer aucune trace de sel, au bout d'une courte période. Puisqu'il n'en est pas ainsi, puisque les sources contiennent toujours des chlorures, c'est qu'il se produit, vers la surface, une venue incessante de sels empruntés aux eaux plus profondes.

Étant donnée la masse d'eau de mer logée dans l'écorce du globe, les sels qu'elle contient en dissolution tendent à s'y répartir plus ou moins uniformément; les eaux supérieures appauvries s'enrichissent aux dépens des eaux un peu plus salées avec lesquelles elles se trouvent en contact. Quantité de nappes d'eau, dans les terrains immergés, sont alimentées directement par la mer; ce sont elles qui subviennent, en dernière analyse, au maintien d'un certain degré de salure des terrains superjacentes.

Il y aurait donc, si l'on veut bien admettre cette explication, une circulation perpétuelle de sel marin. Parti des profondeurs de la mer, ce sel serait comme aspiré à travers l'écorce terrestre, grâce à son humidité, et retournerait à la mer, entraîné par les cours d'eau qui s'y jettent.

Il est à remarquer d'ailleurs que l'apport journalier des fleuves et des rivières viendrait augmenter progressivement la salure des mers, si le cycle dont il s'agit n'existait pas.

**Absence d'évaporation des eaux profondes.** — Revenons maintenant à l'eau souterraine qui remplit les pores des roches, en la considérant indépendamment des sels qui s'y trouvent en dissolution.

Il est bien certain que, dans la zone de dessiccation, elle s'évapore, lorsque le temps est beau. Mais les pluies se chargent de restituer au sol son humidité normale.

Il n'est pas nécessaire de supposer, comme l'ont fait différents géologues, notamment Daubrée, à la suite de Descartes, que l'eau souterraine s'évapore également dans les grandes profondeurs. Malgré la haute température qu'elle y acquiert, elle se trouve retenue à l'état liquide par la pression qu'elle subit de la part des couches supérieures.

Nous ne voyons pas de raisons d'admettre le contraire, hors le cas de fissures débouchant au jour. Mais alors l'évaporation est très limitée, et bientôt suivie de condensation. C'est bien par de semblables fissures que jaillissent les sources thermales; mais ces sources proviennent de nappes souterraines d'eau vive, et non pas d'eau capillaire vaporisée, puis condensée, dont le débit ne pourrait être qu'insignifiant.

**Quantité d'eau incorporée dans l'écorce du globe.** — D'après Daubrée (\*), « si l'on tient compte de la nature des roches les plus abondantes, on doit reconnaître que la quantité totale d'eau, ainsi incorporée dans l'écorce solide, représente une quantité très importante, sans doute com-

(\*) *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*, t. II, p. 217.

parable au volume que l'eau occupe à la surface même du globe, quelque vaste que soit le bassin de l'Océan ».

Avant lui, Delesse est arrivé à la même conclusion. Il a évalué l'eau souterraine à 1.175.087 myriamètres cubes, soit  $\frac{1}{921}$  du volume du globe, en admettant que les roches contiennent moyennement 5 p. 100 d'eau d'imbibition et que l'écorce terrestre soit pénétrée par l'eau jusqu'à 18.500 mètres, point où, d'après Ch. Vogt (*Grundrisse der Geologie*), la température atteint environ 600°, et où il y a équilibre entre la force élastique de la vapeur d'eau et la pression supérieure, supposée réduite au poids des roches.

L'eau superficielle, en tenant compte seulement des mers, aurait, d'après Élie de Beaumont, un volume de 1.309.000 myriamètres cubes, soit  $\frac{1}{827}$  du globe. Ainsi l'eau de carrière serait à peu près égale à l'eau superficielle.

Delesse considère d'ailleurs que son évaluation de 5 p. 100 est trop faible pour la partie *immergée*, qui est beaucoup plus grande que la partie *émergée*, et regarde finalement comme très vraisemblable que, sur notre globe, il y a plus d'eau souterraine que d'eau superficielle.

Les roches, dans le sein de la terre, contiennent effectivement plus de 5 p. 100 d'eau en moyenne, puisque les calcaires, qui constituent la majeure partie des sédiments, en absorbent, en moyenne, 14 p. 100, comme nous l'avons montré précédemment, à la fin de la première partie de ce travail, d'après les essais exécutés sur les pierres de taille au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées.

D'autre part, d'après Delesse, les argiles en contiennent de 20 à 30 p. 100, les marnes de 20 à près de 40 p. 100; enfin les roches dites éruptives n'en sont pas dépourvues.

Étant donné les deux états de saturation de l'écorce, savoir : la saturation hygrométrique qu'on constate dès qu'on descend, à une très faible profondeur, dans le sein de la terre, et en outre la saturation aqueuse qui existe nécessairement au-dessous du niveau des mers, il ne paraît pas exagéré d'évaluer le cube des eaux souterraines au triple de celui des eaux superficielles, sinon même au quadruple.

Nous devons, toutefois, faire observer combien de semblables chiffres sont hypothétiques.

Les données actuelles de la géologie ne permettent pas d'assigner une valeur moyenne quelconque à l'épaisseur des terrains sédimentaires. A une certaine profondeur, variable suivant les régions, et généralement inconnue, il doit exister un substratum, formé de roches d'origine ignée, ne contenant qu'une proportion minime d'eau hygrométrique.

On serait même en droit de supposer que, plus bas encore, les roches étant soumises à des pressions croissantes deviendraient de moins en moins poreuses, de plus en plus sèches et denses, si les températures également croissantes auxquelles elles sont soumises ne venaient, en tendant à les dilater, mettre obstacle à leur contraction.

**Conclusion.** — On connaissait depuis fort longtemps l'eau de carrière et on savait que toutes les pierres en contiennent plus ou moins, au moment de leur extraction. Nous avons essayé de montrer qu'au-dessous d'une zone de dessiccation tout à fait superficielle les couches géologiques sont uniformément saturées d'eau hygrométrique, et que l'origine de cette eau remonte à l'époque de la formation des roches.

Le volume qu'elle occupe dans les pores de l'écorce du globe, indépendamment de celui des nappes aquifères, est considérable, bien supérieur à celui des mers.

Sa présence dans le sous-sol, aussi bien que dans l'atmosphère, est éminemment favorable à la conservation de la chaleur interne.

A la fois bonne conductrice de l'électricité et mauvaise conductrice de la chaleur, l'enveloppe humide du noyau central empêche en effet le sol d'être échauffé, d'une façon nuisible à la végétation, soit par les rayons solaires, soit par le calorique souterrain.

D'autre part, l'imbibition de l'écorce terrestre entraîne une diminution notable de la résistance des roches, d'origine marine ou lacustre, dont elle est, en majeure partie, composée.

Ainsi se trouve facilitée la production des flexions, des plissements, des fissures, des fractures qu'on constate en si grand nombre dans les terrains sédimentaires, et qui attirent l'attention des exploitants de mines au moins autant que celle des géologues.

Nous terminons en exprimant le regret de n'avoir pu qu'effleurer une bonne partie des sujets, si complexes, que notre étude nous a conduit à envisager successivement. Nous aurons cependant atteint notre but, si nous suscitons de nouvelles recherches touchant, d'un côté, la physique moléculaire considérée au double point de vue de la science et de la pratique, et d'un autre côté la constitution intime de l'écorce du globe terrestre.

## BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1895

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

## I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux de M. COIGNARD, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

1<sup>o</sup> *Minerais de plomb argentifère.* — Recherches dans la région de Valgorge (Ardèche).

La Clède de Bayle. — Galène à gangue quartzeuse du filon Heure 10.

Plomb.....	58,20 p. 100.
Argent.....	4 <sup>rs</sup> ,550 à la tonne de plomb.

La Clède de Bayle. — Filon barytique, pendage au nord.

Plomb.....	49,60 p. 100.
Argent.....	1 <sup>er</sup> ,530 à la tonne de plomb.

Idem. — Idem : Deuxième échantillon pris sur un autre point.

Plomb.....	23,30 p. 100.
Argent.....	1 <sup>rs</sup> ,540 à la tonne de plomb.

2<sup>o</sup> *Minerais de plomb argentifère.* — Recherches de Moissac (Lozère). — Filons dans les micaschistes.

Galène fine, gangue schisteuse et quartzeuse.

Plomb.....	31,40 p. 100.
Argent.....	3 <sup>rs</sup> ,040 à la tonne de plomb.

Galène à larges facettes, gangue schisteuse et quartzéuse.

Plomb..... 68,70 p. 100.  
Argent..... 4<sup>rs</sup>,170 à la tonne de plomb.

3<sup>o</sup> *Minerais de plomb argentifère.* — Recherches d'Allenc (Lozère). Gisement dans le granite.

Puits Robert; filon Heure 6.

Galène à larges facettes, gangue quartzéuse.

Plomb..... 62,20 p. 100.  
Argent..... 1<sup>rs</sup>,240 à la tonne de plomb.

Perçement Georgette; filonnet Heure 6.

Galène à petites facettes, gangue quartzéuse.

Plomb..... 31,40 p. 100.  
Argent..... 4<sup>rs</sup>,760 à la tonne de plomb.

4<sup>o</sup> *Minerais de zinc et de plomb.* — Recherches du Mazel, près le Bleyard (Lozère).

Gîte de contact entre les schistes anciens et les calcaires du Lias :

Calamine extraite des déblais des anciens travaux.  
Morceaux de choix :

Zinc..... 34,75 p. 100  
Zinc..... 31,45 —

Minerais pauvres :

Zinc..... 8,50 —

Couche de galène de 0<sup>m</sup>,20 de puissance dans les calcaires du Lias :

Galène à petites facettes rencontrée dans le puits n° 1, à 23 mètres de profondeur :

Plomb..... 41,20 p. 100.  
Argent..... 820 grammes à la tonne de plomb.

5<sup>o</sup> *Minerais de zinc.* — Provenances diverses.

NATURE ET PROVENANCE	ZINC p. 100	RÉSIDU insoluble p. 100	PLOMB p. 100	ARGENT p. 1000	CADMIUM p. 100	FER p. 100	CHAUX p. 100	PERTE au feu p. 100
Blende et galène de St-Sauveur de Pourcils (Gard)	39,10	35,50	1,90	0 <sup>rs</sup> ,090 p. 1000 minéral	0,40	1,20	1,90	30,70
Blende et calamine	36,60	27,10	3,60	0 <sup>rs</sup> ,090 p. 1000 minéral	0,40	1,40	3,50	25,50
Calamine avec mouches de galène	39,10	10,20	1,70	0 <sup>rs</sup> ,080 p. 1000 minéral	0,30	1,20	6,20	
Calamine	38,90	20,40	pas	4 <sup>rs</sup> ,330 p. 1000 plomb	0,30	0,50	4,60	
Blende et galène	24,80	32,70	19,60		1,50 de cuivre	1,60	1,30	
Blende	52,20		0,80					
Galène	pas		16,40					
Calamine	24,25		0,55	0 <sup>rs</sup> ,040 p. 1000 minéral				
Blende, calamine et galène	28,80		15,10	0 <sup>rs</sup> ,410				
Blende et galène	24,10		1,75	0 <sup>rs</sup> ,090				
Blende	38,35		traces	0 <sup>rs</sup> ,330				
Galène et blende	28,40		31,10	0 <sup>rs</sup> ,380				
Blende et mouches de galène	20,20		3,90	0 <sup>rs</sup> ,050				
Calamine	31,65							
Calamine	36,60							
Blende	47,30							
Blende	4,20							
Minéral siliceux d'Espagne	47,25							

6° *Minerais d'antimoine.* — Minerai de l'Auzonnet.

Antimoine..... 17,30 p. 100.

## Oxyde d'antimoine (produit de l'usine du Collet de Dèze).

Antimoine..... 77,10 p. 100.

7° *Combustibles minéraux.* — Houilles du Gard.

		p. 100
Houille des recherches de Bordezac (Gard).	matières volatiles..	18,50
Houille de Bessèges (Gard).....	matières volatiles..	23,10
Houille des recherches de Bordezac (pas de coke).....	cendres.....	16,30
Houille des recherches de Bordezac (pas de coke).....	matières volatiles..	21,10
Houille des recherches de Bordezac (pas de coke).....	cendres.....	20,60
Houille des recherches de Bordezac (coke boursoufflé).....	matières volatiles..	25,70
Houille des recherches de Bordezac (coke boursoufflé).....	cendres.....	14,10
Houille des mines de Cessous et Comberedonde.....	matières volatiles..	21,20
Houille des mines de Cessous et Comberedonde.....	cendres.....	9,10
Houille des mines de Cessous et Comberedonde.....	matières volatiles..	7,60
Houille des mines de Cessous et Comberedonde.....	cendres.....	41,50

8° *Eau minérale.* — Source Saint-Martin à Trenc (Ardèche).

Carbonate de soude.....	gr.	0,162 par litre
— de potasse.....	pas	—
— de chaux.....	0,082	—
— de magnésie..	0,063	—
Fer et alumine.....	0,072	—
Chlorure de sodium.....	0,005	—
Sulfate de soude.....	0,019	—
Silice.....	0,045	—
Acide carbonique libre...	0,051	—

9° *Eaux minérales.* — Sources Marie-Faure et Renaissance à Chanac (Ardèche).

	MARIE-FAURE	RENAISSANCE
	gr.	gr.
Bicarbonate de soude.....	4,015 par litre	1,702 par litre
— de potasse.....	0,075 —	0,191 —
— de chaux.....	0,403 —	0,245 —
— de magnésie.....	0,496 —	0,278 —
— de fer.....	0,041 —	0,019 —
Chlorure de sodium.....	0,291 —	0,146 —
Sulfate de soude.....	0,012 —	traces
Silice.....	0,035 —	0,035 —
Acide carbonique libre.....	2,142 —	1,728 —

## II. — LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

Travaux de M. de BÉCHEVEL, Ingénieur des Mines. (EXTRAIT).

1° *Galène.* — Essai d'un échantillon de galène massive présenté par M. Mauranne-Bertrand, comme provenant de la commune de Védrières-Saint-Loup (Cantal).

Galène lamelleuse associée à de faibles quantités de quartz et de sulfate de baryte.

Essai pour plomb et argent :

Plomb.....	77,50 p. 100
Argent.....	300 grammes par tonne de minerai,
ce qui correspond à...	387 — de plomb d'œuvre.

2° *Houille.* — Essai d'un échantillon présenté par M. Talmant, explorateur à Saint-Éloy, comme provenant de travaux de recherches exécutés à Bioras, commune d'Youx (Puy-de-Dôme).

Houille moitié terne, moitié brillante, non pyriteuse, à cassure irrégulière.

Cendres (très légères, pulvérulentes, couleur gris clair tirant vers le blanc).....	11,50 p. 100
Résidu fixe de calcination en vase clos (à peine aggloméré, friable, s'écrasant facilement sous la pression du doigt).....	64,33
Matières volatiles perdues correspondantes...	35,67
Matières volatiles du combustible supposé dépourvu de cendres.....	40,30

L'échantillon essayé rentre ainsi dans la catégorie des houilles sèches à longue flamme.

3° *Terres siliceuses.* — Analyse sommaire de deux échantillons présentés :

a) Par M. Augier, comme provenant de la commune de Lamontgie (Puy-de-Dôme);

b) Par M. Bonal, comme provenant de la commune de Virargues (Cantal).

Les deux échantillons se présentent sous forme de terres blanches, stratifiées, très légères, susceptibles d'être utilisées comme matières absorbantes.

## Composition élémentaire :

MATIÈRES DOSÉES (OU CALCULÉES)	a	b
Silice.....	85,35	83,00
Chaux.....	0,41	0,33
Peroxyde de fer et alumine.....	2,60	3,00
Eau distillable à 100°.....	7,50	7,00
Eau complémentaire, acide carbonique, etc.....	4,14	6,67
<b>Totaux.....</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

### III. — LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES MINES DE SAINT-ÉTIENNE.

Travaux exécutés sous la direction de M. BABU,  
Ingénieur des Mines. (EXTRAIT.)

## Eaux minérales.

a. Eaux de Parizé-le-Châtel (Nièvre).

	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
Extrait à 180°.....	2,937	3,078
Acide carbonique libre.....	1,784	1,982
Silice.....	0,0384	0,0312
Acide sulfurique.....	1,110	1,030
Chlore.....	0,016	0,0262
Protoxyde de fer.....	0,0151	0,035
Chaux.....	1,082	1,128
Magnésie.....	0,145	0,173
Potasse.....	0,0058	0,0148
Soude.....	0,028	0,0237

b. Source Sainte-Marie et Source Romaine à Saint-Galmier (Loire).

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
Extrait à 180°.....	2,360	1,230
Acide carbonique libre.....	2,08	2,125
Silice.....	0,0438	0,033
Acide sulfurique.....	0,0523	0,0405
Chlore.....	0,1142	0,0702
Protoxyde de fer.....	0,0085	0,0061
Chaux.....	0,5000	0,2810
Magnésie.....	0,2616	0,1953
Potasse.....	0,0272	0,0208
Soude.....	0,2881	0,2461

c. Sources de la Compagnie des Eaux de Saint-Galmier.

	SOURCE BADOIT	SOURCE RÉMY	SOURCE NOEL <sup>3</sup>	SOURCE NOEL <sup>5</sup>
Extrait à 180°.....	1,681	1,690	1,360	1,132
Acide carbonique libre.....	2,40	2,000	1,97	1,40
Silice.....	0,0338	0,0364	0,0319	0,0319
Acide sulfurique.....	0,0454	0,0437	0,0395	0,0390
Chlore.....	0,1150	0,114	0,0638	0,0645
Protoxyde de fer.....	0,0070	0,007	0,007	0,0056
Chaux.....	0,3139	0,3148	0,2720	0,2552
Magnésie.....	0,2260	0,2280	0,2006	0,1887
Potasse.....	0,0272	0,0273	0,0181	0,0196
Soude.....	0,2902	0,2931	0,2320	0,2235

### IV. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. SIMON, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

1° Eaux. — Analyse de deux échantillons d'eau remis par M. Godard, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et destinée à l'alimentation du village de Duplex.

	n° 1	n° 2
Acide chlorhydrique .....	0,077	0,059
— sulfurique .....	0,0165	0,019
— azotique .....	»	»
— carbonique .....	0,131	0,133
— silicique .....	0,047	0,015
Chaux .....	0,098	0,108
Magnésie .....	0,048	0,044
Soude .....	0,079	0,063
Potasse .....	traces	traces
Sesquioxyde de fer et alumine .....	0,009	0,008
Résidu .....	0,479	0,450

Composition probable par litre :

	n° 1	n° 2
Chlorure de sodium .....	0,123	0,095
Sulfate de soude .....	0,029	0,030
Carbonate de chaux .....	0,176	0,193
Carbonate de magnésie .....	0,101	0,092
Silice .....	0,017	0,015
Sesquioxyde de fer et alumine .....	0,009	0,008
Pertes et corps non dosés .....	0,024	0,017
Résidu .....	0,479	0,450

2° Eau. — Analyse de cinq échantillons d'eau remis par M. Coustolle, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et destinée à l'alimentation du futur village de Ahil-El-Euch.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Acide chlorhydrique .....	0,215	0,216	0,262	0,420	0,417
Acide sulfurique .....	0,176	0,191	0,175	0,069	0,064
Acide carbonique .....	0,195	0,192	0,168	0,180	0,161
Acide azotique .....	traces	traces	traces	traces	traces
Acide silicique .....	0,018	0,017	0,019	0,019	0,017
Chaux .....	0,261	0,260	0,246	0,279	0,275
Magnésie .....	0,094	0,094	0,092	0,099	0,095
Soude .....	0,151	0,160	0,172	0,191	0,160
Potasse .....	0,012	0,014	0,011	0,015	0,014
Sesquioxyde de fer et alumine .....	0,006	0,006	0,009	0,008	0,005
Matières organiques .....	traces	traces	traces	traces	traces notables
Résidu .....	1,100	1,107	1,114	1,202	1,127

Composition probable par litre :

	0,285	0,302	0,325	0,360	0,320
Chlorure de sodium .....	0,019	0,022	0,017	0,024	0,021
Chlorure de potassium .....	0,036	0,021	0,067	0,235	0,225
Chlorure de magnésium .....	»	»	»	0,004	0,050
Chlorure de calcium .....	»	»	»	»	»
Sulfate de magnésie .....	0,236	0,254	0,192	»	»
Sulfate de chaux .....	0,032	0,036	0,080	0,117	0,108
Carbonate de chaux .....	0,442	0,437	0,381	0,408	0,365
Sesquioxyde de fer et alumine .....	0,006	0,006	0,009	0,008	0,005
Silice .....	0,018	0,017	0,019	0,019	0,017
Pertes et corps non dosés .....	0,026	0,012	0,024	0,027	0,016
Total des sels anhydres ..	1,400	1,407	1,114	1,202	1,127

3° Eau. — Analyse d'une eau provenant de Berrouaghia et remise par M. Picard, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Acide chlorhydrique .....	0,128
Acide sulfurique .....	0,1222
Acide azotique .....	traces
Acide carbonique .....	0,219
Acide silicique .....	0,018
Chaux .....	0,227
Magnésie .....	0,0785
Soude .....	0,1391
Sesquioxyde de fer et alumine .....	0,007
Matières organiques .....	traces
Résidu .....	0,937

4° Eau. — Analyse comparative de trois échantillons d'eau provenant de sources en aval du barrage du Hamiz et d'eau du bassin, remis par M. Julidière, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

N° 1 .....	Source A.
N° 2 .....	Source B.
N° 3 .....	Eau du bassin prise à la surface.

	N° 1	N° 2	N° 3
Résidu par litre .....	0,632	0,720	0,445
Acide sulfurique .....	0,1270	0,1627	0,1229
Chlore .....	0,0573	0,045	0,0251
Degré hydrotimétrique .....	33	38	22

5° Eau. — Analyse d'eaux destinées à diverses communes et

remises par les maires de ces communes, savoir :

N° 1.....	Commune de Douéra.
N°s 2, 3.....	» de Mekla.
N°s 4 à 6.....	» de Saint-Eugène.

	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6
Acide chlorhydrique.....	0,1808	0,0147	0,0258	0,1652	0,2235	0,298
Acide sulfurique.....	0,038	0,0095	0,0105	0,0310	0,0458	0,0518
Acide carbonique.....	0,136	0,0988	0,1382	0,1672	0,1548	0,1455
Acide silicique.....	0,014	0,009	0,0135	0,0114	0,0160	0,0184
Chaux.....	0,184	0,1282	0,1750	0,1056	0,1180	0,1306
Magnésie.....	0,027	0,0059	0,0097	0,0929	0,0844	0,0837
Soude.....	0,130	0,0079	0,0160	0,1390	0,1819	0,2240
Sesquioxyde de fer et alumine.....	0,005	0,0029	0,0036	0,003	0,0028	0,0036
Matières organiques.....	»	traces	traces	traces	traces	traces
Résidu par litre.....	0,692	0,2873	0,394	0,692	0,788	0,890

Composition probable par litre :

Chlorure de sodium.....	0,246	0,015	0,0301	0,2623	0,3433	0,4227
Chlorure de magnésium.....	0,035	0,007	0,0091	0,002	0,0121	0,0446
Sulfate de magnésie.....	0,036	0,0071	0,0079	0,0233	0,0345	0,0389
Sulfate de chaux.....	0,024	0,0081	0,0090	0,0263	0,0387	0,0439
Carbonate de chaux.....	0,311	0,2229	0,3059	0,1692	0,1822	0,2009
Carbonate de magnésie.....	»	0,0013	0,0068	0,1770	0,1424	0,1091
Sesquioxyde de fer et alumine.....	0,005	0,0029	0,0036	0,003	0,0028	0,0036
Silice.....	0,014	0,009	0,0135	0,0114	0,0160	0,0184
Perte et corps non dosés.....	0,021	0,014	0,0081	0,0175	0,0160	0,0079

6° *Eaux*. — Analyse de quatre échantillons d'eaux remis par la Compagnie des chemins de fer sur route.

Provenance : n° 1.....	Dellys.
— n° 2.....	Camp du Maréchal source a.
— n° 3.....	— b.
— n° 4.....	— c.

	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Acide chlorhydrique.....	0,2146	0,189	1,381	0,0382
— sulfurique.....	0,0563	0,0439	0,0240	0,0975
— carbonique.....	0,1576	0,1220	0,2030	0,1880
— silicique.....	0,013	0,012	0,013	0,01
Chaux.....	0,157	0,119	0,2153	0,204
Magnésie.....	0,065	0,0267	0,062	0,037
Soude.....	0,1733	0,1933	0,1430	0,059
Potasse.....	traces	»	»	»
Fer et alumine.....	0,0042	0,007	0,007	0,004
Résidu par litre.....	0,822	0,69	2,74	0,666

7° *Eaux minérales*. — Analyse de deux échantillons d'eau minérale provenant de la ferme de M. Ricci, à l'Oned-Djer, remis par M. l'Ingénieur en chef des Mines.

	n° 1	n° 2
Acide chlorhydrique.....	0,1237	0,2034
— sulfurique.....	0,3900	0,3859
— carbonique (combiné neutre).....	0,4055	0,6172
— carbonique (total).....	1,2052	1,9397
— carbonique libre.....	0,3942	0,7033
— silicique.....	0,0140	0,0142
Chaux.....	0,4150	0,5292
Magnésie.....	0,1635	0,1940
Soude.....	0,2365	0,4383
Potasse.....	0,0110	0,0180
Lithine.....	traces	traces
Sesquioxyde de fer.....	0,0025	0,004
Alumine.....	traces	traces
Résidu par litre.....	1,800	2,408

Composition probable par litre :

	n° 1	n° 2
Acide carbonique libre.....	0,3942	0,7033
Chlorure de sodium.....	0,1845	0,3007
— de potassium.....	0,0174	0,0321
— de lithium.....	traces	traces
Sulfate de soude.....	0,3634	0,6388
— de magnésie.....	0,2778	0,0390
Bicarbonate de chaux.....	1,0671	1,3608
— de magnésie.....	0,2267	0,5792
— de fer.....	0,0053	0,0081
Silice.....	0,0140	0,0142
Alumine.....	traces	traces
Pertes et corps non dosés.....	0,0492	0,0523

## V. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de M. SERGÈRE, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

1° *Calamines*. — Essais d'échantillons de provenances diverses.

- a). Bou-Djaber, remis par M. Charpin.  
 b). Souk-Ahras, — M. Durand.  
 c). Tunisie, — M. Barbier.  
 d). Kef-Rebiga, — la C<sup>e</sup> de la Vicille-Montagne.

Teneur en zinc, p. 100 :

a.	26,32	44,24	39,42
b.	29,29	»	»
c.	37,26	38,81	36,25
d.	41,34	»	»

2° *Minerai de plomb*. — Échantillon de galène remis par M. Durand Layold, provenant de Souk-Ahras.

Plomb .....	14,85 p. 100 ;
Argent .....	0 <sup>s</sup> ,0385 par tonne de minerai ;
soit .....	0 <sup>s</sup> ,259 — de plomb.

3° *Minerais d'antimoine*. — Échantillons d'antimoine oxydé, remis par la Société minière d'Aïn-Beïda (Hamimate).

Minerai gris compact avec quelques petits cristaux en géode.

	a)	b
Antimoine .....	62,23	78,17
Résidu insoluble .....	24,00	non dosé
Arsenic .....	0,114	»
Plomb .....	traces	traces
Humidité .....	1,24	»

4° *Minerai d'antimoine*. — Échantillon d'antimoine oxydé, remis par M. Bourrel, provenant de la région d'Aïn-Beïda.

Même aspect que les précédents.

Antimoine .....	60,98 p. 100.
Arsenic .....	traces.

5° *Minerai de cuivre*. — Échantillon de cuivre carbonaté, remis par M. Bourrel, provenant des environs d'Aïn-Beïda. Cuivre carbonaté vert avec fer spathique ; gangue siliceuse.

Cuivre. .... 30,86 p. 100.

6° *Phosphates de chaux*. — Échantillons remis par M. Mollon, provenant de Saint-Arnaud. Roche calcaire, couleur noire.

Teneur en phosphate tribasique :

a. ....	27,14 p. 100.
b. ....	21,93 »
c. ....	18,32 »
d. ....	traces.

7° *Phosphates de chaux*. — Échantillons remis par M. Jacob, Ingénieur des Mines, provenant de Douar Chéria et environs.

Phosphates gris pointillés de noir, analogues à ceux de Tébessa.

Teneur en phosphate tribasique p. 100 :

a). Troubia .....	48,94
b). Gharal .....	43,86
c). Dainous (variété dure) .....	35,23
d). — (tendre) .....	56,74
e). — (tendre) .....	53,82
f). Tsbent (silex phosphaté) .....	38,21
g). — .....	48,05
h). — .....	46,50

Ces teneurs correspondent aux échantillons non desséchés.

L'échantillon *d* renfermait 8,30 p. 100 d'humidité ; la teneur de cet échantillon sec est, par suite, de 61,8 p. 100.

Cinq échantillons de calcaire à Inocérames ont été essayés à titre de curiosité : l'un d'eux a donné 5,29 p. 100 de phosphate tribasique (l'étage à Inocérames n'est pas celui qui renferme le niveau à phosphate).

8° *Phosphates de chaux*. — Échantillons remis par la C<sup>e</sup> Algérienne, provenant de ses propriétés à Aïn-Regada.

Phosphates gris plus ou moins durs.

	Teneur p. 100
Chabet-Oun-Djemb .....	22,32
— .....	32,78
Ben-Zerguin .....	21,21
— .....	13,82
— .....	19,25

	Teneur p. 100
Ben-Rebah.....	33,90
El-Eulsa.....	19,65
— .....	38,24
— .....	16,46
— .....	16,29
Debaba.....	32,08
— .....	23,62
— .....	18,97

Neuf autres échantillons n'ont donné que des traces.

9° *Phosphates de chaux*. — Échantillons remis par MM. Casembroot et Lagache, provenant de Tocqueville.

Phosphates noirs avec points blancs.

Teneur du phosphate sec :

a.....	63,80 p. 100
b.....	61,10 —

## REMARQUES ET EXPÉRIENCES

A L'OCCASION D'UN

### MANQUE D'EAU DANS UN GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

Par M. C. WALCKENAER, Ingénieur des Mines,  
Secrétaire de la Commission centrale des Machines à vapeur.

A la suite d'une surchauffe par manque d'eau, d'où est résultée la rupture d'un bouilleur de chaudière dans une usine de Montreuil-sous-Bois, le Service des Mines a recueilli sur l'accident des indications qui valent d'être notées. Elles fournissent un exemple des dérangements auxquels peut être sujet le fonctionnement du tube indicateur du niveau de l'eau, lorsqu'au lieu d'être directement greffé sur la chaudière par de courtes tubulures, cet important appareil de sûreté est relié au générateur par des tuyaux longs et étranglés (\*). La considération de cet accident m'a conduit à effectuer quelques expériences, en vue de préciser l'ordre de grandeur de l'un des phénomènes d'où peuvent, en certains cas, dépendre ces perturbations: la condensation dont la communication de vapeur est le siège. On trouvera dans ce qui suit les résultats de ces essais. Ils peuvent offrir quelque intérêt, d'un point de vue général, comme contribution à l'étude de la condensation de la vapeur dans les tuyaux.

(\*) J'ai déjà entretenu de ce sujet les lecteurs des *Annales* (Précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des tubes indicateurs du niveau de l'eau des chaudières à vapeur; *Annales des Mines*, 9<sup>e</sup> série, t. VI, p. 511 et suiv.).

## I. — CIRCONSTANCES DE L'EXPLOSION DE MONTREUIL.

§ 1. **Récit de l'accident.** — Voici d'abord ce qui s'est passé à Montreuil-sous-Bois. Le générateur, horizontal à foyer extérieur, comprenait un corps cylindrique avec deux bouilleurs inférieurs, et un réchauffeur latéral. La surface de chauffe était  $60\text{ m}^2$ , la capacité  $14,5\text{ m}^3$ , le timbre  $7\text{ kg} : \text{cm}^2$ ; les bouilleurs mesuraient 65 centimètres de diamètre et 8,55 m de longueur. L'accident a consisté dans une déchirure au bouilleur de gauche. La plaie occupait 80 centimètres de longueur, suivant la génératrice inférieure de la tôle de coup de feu, et bâillait de 11 centimètres; autour d'elle, la surface extérieure du métal était bleuie sur une étendue de 15 ou 20 centimètres; au-delà de la teinte bleue s'étendait une auréole d'oxyde rouge. La surchauffe ne s'expliquait point par l'accumulation du tartre ou des boues, car l'appareil ne contenait que peu de dépôts. L'explosion n'avait fait qu'un bruit léger et n'avait produit aucun effet dynamique. Enfin le dépôt qui tapissait la paroi du bouilleur montrait, à différentes hauteurs, des lignes horizontales nettes et saillantes, accusant les stades de l'évaporation progressive. A l'évidence, cette chaudière avait manqué d'eau.

Il n'est, d'ailleurs, pas surprenant que le régime normal de son alimentation se fût trouvé troublé. L'alimentation, qui avait lieu soit par retour d'eau, soit au moyen d'un injecteur, aboutissait dans le réchauffeur latéral; celui-ci avait normalement avec le générateur proprement dit deux communications, l'une ABCDD' (Pl. IV, *fig.* 1) plongeante des deux parts, l'autre EFG allant de la partie supérieure du réchauffeur au dôme qui surmontait le corps cylindrique. Or, ainsi qu'on l'a reconnu après l'explosion, la communication ABCDD' s'était totalement obstruée par les dépôts, un peu au-dessus de la bifurcation des

deux branches. Cette communication supprimée, il est explicable que l'alimentation ne se fût poursuivie par EFG que d'une manière défectueuse.

Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un flotteur magnétique. Ce dernier était dépourvu de sifflet, et le chauffeur reconnaît n'en avoir pas observé l'index; mais il a consulté et même purgé le tube de verre, et, d'après les indications de ce tube, il croyait avoir de l'eau dans le générateur. Le contre-maître, de son côté, a vu de l'eau dans le tube cinq ou dix minutes avant l'explosion. Le chef de l'usine en avait vu deux heures auparavant.

Seulement, pressé de questions par M. l'ingénieur des Mines Pellé, le chauffeur a fini par expliquer dans quelles conditions on voyait l'eau dans le tube de verre. « Cette eau, lorsqu'elle y était visible, était constamment traversée par des bulles de vapeur, qui la soulevaient et produisaient des oscillations continues d'une extrémité à l'autre du tube; parfois l'eau disparaissait complètement, puis revenait peu à peu. Lorsque le chauffeur avait purgé (ce qu'il a fait pour la dernière fois une heure ou deux avant l'accident), l'eau ne réapparaissait pas tout de suite; il mettait alors son giffard en marche; au bout de quelques minutes, l'eau était de nouveau visible, mais toujours avec les mêmes bulles de vapeur et la même agitation; le chauffeur attribuait ce retour de l'eau au fonctionnement de l'alimentation et, croyant avoir assez alimenté, il arrêtait alors son giffard. »

D'où venaient ces apparences, alors que le générateur devait manquer d'eau presque totalement?

§ 2. **Disposition du tube indicateur.** — Le tube de verre, placé contre une paroi latérale de la chambre de chauffe, était relié à la chaudière par des tuyaux dont le diamètre intérieur mesurait 20 ou 22 millimètres, et dont les lon-

guez étaient : 1,65 m pour le tuyau de communication d'eau, qui partait du bouilleur de gauche; 3,20 m pour le tuyau de communication de vapeur, greffé sur la colonnette du flotteur magnétique. Ces tuyaux présentaient plusieurs inflexions. Celui de communication de vapeur était, pour la plus grande partie, horizontal. Celui de communication d'eau avait deux parties horizontales successives, qui donnaient à son profil en long une figure d'escalier, comme le montre la *fig. 1*. Aux points d'insertion dans le générateur, le diamètre de ces tuyaux se réduisait à 15 ou 16 millimètres. A leurs extrémités opposées, les montures du tube de verre étaient d'un système spécial, qui ne laissait à l'eau et à la vapeur que des passages resserrés.

Dans un pareil ensemble, s'il ne se produisait aucune obstruction, si de plus les parties remplies de vapeur n'étaient le siège d'aucune condensation ni perte de charge, il est certain qu'un abaissement croissant du plan d'eau dans le générateur amènerait d'abord la disparition de l'eau du tube de verre, puis la vidange des gradins successifs du tuyau de communication inférieur; et, à partir de l'époque où le bouilleur au sommet duquel est greffé ce tuyau aurait commencé à manquer d'eau, l'ensemble considéré ne contiendrait plus que de la vapeur. Une réserve est cependant encore à faire : il en serait comme nous venons de dire, si les parties horizontales du tuyau de communication inférieur ne présentaient pas la moindre contre-pente de la chaudière vers le tube de verre, car autrement les points bas de ce tuyau pourraient ne pas se vider entièrement par siphonage et conserver une certaine quantité d'eau stagnante après la vidange générale. Mais, et quoi qu'il en soit de ce dernier point, le refroidissement de la vapeur dans les tuyaux, les condensations qui en résultent, les phénomènes d'écoulement qui s'ensuivent, et conjointement

avec ces phénomènes les étranglements, sinon même les obstructions complètes qui peuvent se produire, viennent singulièrement compliquer les choses. La première question qui se pose, pour en bien juger, est de savoir quelle est à peu près l'importance des condensations de la vapeur.

## II. — RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES SUR LA CONDENSATION.

§ 1. **Expériences anciennes.** — Les expériences de M. J. Chrétien (\*) ont déterminé la condensation produite dans un tuyau en fer de 66 millimètres de diamètre intérieur, 3 millimètres d'épaisseur (\*\*) et 26,36 m de long, installé à l'air sous un hangar. Ce tuyau, en pente légère, partait d'une chaudière et aboutissait au sommet d'un tube de verre disposé comme le représente la *fig. 2*, Pl. IV (\*\*\*) ; on entr'ouvrait le robinet R de manière à maintenir un niveau constant dans le tube de verre, et l'eau recueillie était pesée de minute en minute. Par heure et par mètre carré de surface soit intérieure, soit extérieure du tuyau, la condensation observée, en fonction de la pression à la chaudière, a été celle représentée sur les *fig. 3* et *4* par les courbes marquées *mn*.

Mais ces résultats ne sauraient être appliqués à une conduite quelconque. La condensation par mètre carré est notamment influencée d'une manière importante par le diamètre du tuyau. Ce fait n'a pas été ignoré de M. Chrétien : « A surfaces extérieures égales, écrit-il, les petits

(\*) Le transport de la vapeur à de grandes distances et sa canalisation. *Bulletin technologique de la Société des anciens élèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers*, 1885.

(\*\*) Le texte du mémoire porte 6 millimètres, mais c'est visiblement une erreur d'écriture; le dessin représentant le montage des expériences indique que le tuyau avait 72 millimètres de diamètre extérieur et que les surfaces totales intérieure et extérieure étaient respectivement 5,53 et 6,06 m<sup>2</sup>.

(\*\*\*) Empruntée au mémoire cité.

diamètres produisent plus de condensation que les grands; » seulement son travail, n'ayant porté que sur une seule espèce de tuyaux, n'en fournit pas de démonstration expérimentale. Cette influence du diamètre est, en revanche, nettement accusée dans les résultats des expériences auxquelles M. l'Ingénieur en chef des Mines Ledoux a fait procéder à Anzin (\*). Dans ces expériences, la condensation de la vapeur (lorsqu'elle n'est pas en régime d'écoulement comme dans une conduite de machine en marche, mais que l'extrémité du tuyau qui la contient ne donne issue qu'à l'eau condensée) a été mesurée dans trois tuyaux en fer ayant environ 295 mètres de longueur, et des diamètres intérieurs de 100 millimètres, 71 et 47 millimètres respectivement. Il est vrai que ces tuyaux étaient enveloppés; les condensations auxquelles ils ont donné lieu ne sont donc pas comparables avec celles des tuyaux nus, mais elles sont comparables entre elles. Ces tuyaux portaient uniformément une double enveloppe de tresse de paille recouverte de papier goudronné. Avec le tuyau de 100 millimètres, cinq expériences, dont deux à la pression de 3 kg : cm<sup>2</sup> et trois à celle de 6 kg : cm<sup>2</sup>, ont accusé en moyenne une condensation de 795 grammes par mètre carré et par heure. Avec le tuyau de 71 millimètres, trois expériences, dont deux à 3 kg : cm<sup>2</sup> et une à 6 kg : cm<sup>2</sup>, ont fourni une moyenne peu différente : 809 grammes par m<sup>2</sup>-h. Mais, lorsqu'on passe au tuyau de 41 millimètres, sur lequel cinq expériences ont été faites, comme sur celui de 100 millimètres, à la pression de 3 kg : cm<sup>2</sup> pour deux d'entre elles et à 6 kg : cm<sup>2</sup> pour les trois autres, on voit la condensation moyenne s'élever à 1,8 kg par m<sup>2</sup>-h.

(\*) Étude sur les pertes de charge de l'air comprimé et de la vapeur dans les tuyaux de conduite. *Annales des Mines*, 9<sup>e</sup> série, t. II, p. 541 et suiv.

Dans ces conditions, la condensation qui a lieu dans le tuyau de communication de vapeur d'un tube indicateur du niveau de l'eau ne saurait être calculée en partant des résultats d'observation relatifs aux conduites du genre de celles qui alimentent les machines. Les données expérimentales doivent être demandées à des essais spéciaux. Ceux dont il va être rendu compte tirent leur intérêt de cette remarque.

§ 2. **Expériences nouvelles.** — Ces essais ont été effectués sur l'une des chaudières à vapeur des Anciens Établissements Cail (\*). Cette chaudière, horizontale à foyer intérieur, tubulaire et à flamme directe, de 50 m<sup>2</sup> de surface de chauffe, comprend deux corps superposés. Le corps inférieur, du type locomotive, contient le système de chauffage, composé du foyer et des tubes à fumée; le corps supérieur est un cylindre horizontal de 80 centimètres de diamètre, surmonté d'un dôme de prise de vapeur. Le plan d'eau, dans cet ensemble, s'élève jusqu'au tiers environ du diamètre vertical du corps supérieur. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau, qui servent couramment à la conduite de la chaudière, comprennent un indicateur à glace plane, directement greffé par de courtes tubulures sur le fond d'avant du corps supérieur, et un système de robinets étagés.

Pour les expériences, on avait installé en outre, dans la position représentée par les *fig.* 5 et 6 (Pl. IV), un tube indicateur en verre EF, mesurant 10 mm de diamètre intérieur et 21,5 cm de hauteur visible entre ses montures; celles-ci, d'un modèle courant, portaient les robinets de

(\*) M. Bougault, qui a bien voulu mettre cette chaudière à ma disposition et y faire installer la tuyauterie nécessaire aux expériences, et ses collaborateurs qui ont donné les soins les plus obligeants à la préparation des essais, voudront bien trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

communication D et G et le robinet purgeur R. La monture supérieure était reliée, par un tuyau BC, à une prise de vapeur A greffée sur la génératrice arrière du dôme vertical, à environ 86 centimètres au-dessus du plan d'eau.

Cette communication BC pouvait être à volonté faite d'un tuyau de 30, de 20 ou de 10 millimètres de diamètre intérieur ; dans les trois cas, le tuyau était en cuivre de 2,5 mm d'épaisseur, non enveloppé, et présentait sensiblement 4,7 m de développement entre ses brides terminales. Sur la plus grande partie de sa longueur, il courait près ou contre la surface du calorifuge dont est revêtu le générateur.

Avec chacun de ces tuyaux de communication, deux méthodes ont été employées. Dans l'une, comme dans les expériences de M. Chrétien, le tube de verre EF n'était pas relié à la chaudière par le bas, et servait simplement à recevoir l'eau de condensation qui se déversait à sa partie supérieure. On tenait le robinet de purge R entr'ouvert, et l'on réglait son ouverture de manière à avoir continuellement de l'eau à la base du tube de verre et de la vapeur à son sommet. Du robinet R pendait un tuyau de caoutchouc, à l'extrémité inférieure duquel l'eau était recueillie. L'expérience était prolongée le temps nécessaire pour recueillir plusieurs litres d'eau.

Dans l'autre méthode, la monture inférieure du tube de verre était reliée, par un tuyau HI de 10 millimètres, à un robinet de prise greffé sur la chaudière, comme la *fig. 6* le montre, un peu au-dessus du plan d'eau. Le tube de verre EF étant en état de fonctionnement normal, comme s'il avait constitué l'indicateur du niveau de l'eau de la chaudière, on fermait, à un instant donné, le robinet G de la communication inférieure : aussitôt, l'afflux d'eau de condensation n'étant plus compensé par un écoulement vers la chaudière, le niveau montait dans le tube

de verre. On notait le nombre de centimètres dont il s'emplissait et le temps nécessaire pour l'emplir : de la vitesse d'emplissage ainsi mesurée résultait la valeur de l'afflux.

Par la première méthode, le tuyau de 20 millimètres de diamètre intérieur a donné :

CONDENSATION PAR HEURE ET PAR MÈTRE CARRÉ.....	de surface	
	intérieure	extérieure
	kilogr.	kilogr.
A une pression moyenne légèrement supérieure à 5 kg : cm <sup>2</sup> .....	6,5	5,2
A une pression variant de 9 à 10 1/2, moyenne vers 9 1/2 kg : cm <sup>2</sup> .....	8,3	6,6

Ce sont les points figuratifs *a*, *b* des diagrammes, *fig. 3* et *4* (Pl. IV). Ils montrent approximativement comment, pour ce diamètre et dans ces conditions d'installation du tuyau, le taux de la condensation croît avec la pression.

D'autre part, la même méthode, appliquée aux tuyaux de 30 et de 10 millimètres de diamètre intérieur, sous une pression de 5 à 5 1/2 kg : cm<sup>2</sup>, a donné :

CONDENSATION PAR HEURE ET PAR MÈTRE CARRÉ.....	de surface	
	intérieure	extérieure
	kilogr.	kilogr.
Tuyau de 30 mm intérieur.....	6,0	5,2
— 10 —.....	9,8	6,5

Ce sont les points figuratifs *c*, *d* des diagrammes. Leur comparaison entre eux et avec le point *a* montre que le taux de condensation augmente à mesure que le diamètre

du tuyau diminue. L'augmentation est surtout marquée pour le tuyau étroit : on a déjà remarqué une circonstance du même genre dans les résultats des essais de M. Ledoux.

En portant sur un diagramme, ayant les diamètres de tuyau pour abscisses et les condensations pour ordonnées, et relatif à la pression de  $5\frac{1}{4}$  kg : cm<sup>2</sup>, le résultat des expériences de M. Chrétien et ceux que nous venons d'obtenir, on trouve la *fig. 7*. Si l'on considère que les expériences de M. Chrétien et les nôtres n'ont pas eu lieu dans des conditions entièrement comparables, on voit que la concordance est satisfaisante dans la mesure où la nature des choses le comporte.

Passons aux résultats de la seconde méthode. Appliquée au tuyau de 20 millimètres, elle a donné :

CONDENSATION PAR HEURE ET PAR MÈTRE CARRÉ.....	de surface	
	intérieure	extérieure
A une pression de $7\frac{1}{2}$ à $6\frac{3}{4}$ kg : cm <sup>2</sup> ..	kilog. 6,3	kilogr. 5,0
— 8 à 9 kg : cm <sup>2</sup> .....	7,2	5,8

Ce sont les points *e*, *f*, des *fig. 3* et *4*. Ils indiquent, comme cela devait être, une condensation croissante avec la pression ; mais il semble que cette seconde méthode fournisse systématiquement des nombres moindres que la première. Une différence dans le même sens entre les résultats des deux méthodes paraît s'être produite pour le tuyau de 30 millimètres (\*).

Quant à l'application de la seconde méthode au tuyau de 10 millimètres, voici ce qu'elle a permis d'observer.

(\*) Toutefois, je m'abstiens de donner les résultats numériques des observations faites avec le tuyau de 30 millimètres par la deuxième méthode, en raison d'incertitudes qui ont affecté les observations.

Avec ce tuyau, la venue d'eau est fort irrégulière ; pendant une même observation, malgré sa courte durée, il se faisait souvent des variations considérables dans l'allure de la venue d'eau, comme si le tuyau s'engorgeait et débitait son eau de condensation par paquets. Il a été fait 40 de ces observations, à des pressions variant de 9 à  $13\frac{1}{2}$  kg : cm<sup>2</sup>, disons en moyenne 11 kg : cm<sup>2</sup> environ ; 28 d'entre elles, soit les  $\frac{7}{10}$ , s'écartent de moins de 30 p. 100 de leur

moyenne générale, qui correspond à une condensation de 12,6 kg par heure et par mètre carré de surface intérieure du tuyau, ou 8,4 kg par mètre carré de surface extérieure. C'est le point figuratif *g* des diagrammes : on voit que ce point concorde avec le point figuratif *d* fourni par la première méthode pour ce même tuyau.

En résumé, les expériences dont il vient d'être rendu compte n'ont assurément pas une précision rigoureuse ; mais cette précision serait inutile à chercher, puisqu'un certain nombre des données, comme la position du tuyau condensant par rapport au revêtement calorifuge ou au massif du générateur, la ventilation de la chaudière, etc., varient nécessairement dans une forte mesure d'une installation à une autre. Ces expériences suffisent à montrer d'une manière approximative comment le taux de condensation, qui croît avec la pression pour un tuyau donné, s'élève pour une même pression quand le diamètre du tuyau diminue. Cette variation semble surtout importante à partir d'une certaine limite de diamètre au-dessous de laquelle la venue d'eau dans le tube de verre est irrégulière, comme s'il se produisait des engorgements. Il est naturel que l'encombrement du tuyau condensant par l'eau de condensation soit d'autant plus accentué que le tuyau est plus étroit, puisque la surface condensante ne décroît que proportionnellement au diamètre, tandis que la section diminue comme son carré. Il est naturel aussi que

plus il y a une proportion importante d'eau dans le tuyau pour en mouiller les parois, plus les transmissions de chaleur et la condensation deviennent actives.

### III. — CONSÉQUENCES DES ÉTRANGLEMENTS ; CONCLUSIONS DIVERSES.

§ 1. Observations faites aux Établissements Gail. — L'installation qui a servi aux expériences précédentes a encore permis quelques autres constatations. Il est bien connu qu'en étranglant suffisamment la communication de vapeur, on peut faire marquer à un tube de verre un niveau supérieur d'une quantité quelconque au niveau réel (\*). C'est la conséquence directe du phénomène de distillation que nous venons d'étudier. La valeur de l'étranglement nécessaire pour un relèvement donné du niveau dans le tube dépend vraisemblablement du point où est situé cet étranglement : si celui-ci est à l'origine du tuyau de communication sur la chambre à vapeur de la chaudière, il agit sur un courant de vapeur dont le débit est égal à la condensation produite dans le tuyau ; si, au contraire, l'étranglement est voisin du tube de verre, la vapeur en ce point est à peu près complètement stagnante, mais c'est l'écoulement de l'eau condensée que cet étranglement contrarie.

Or il était facile d'étudier ce second cas, sur l'installation représentée par les *fig.* 5 et 6 de la Pl. IV, en fermant progressivement le robinet D. Les observations ont été faites alors que le tuyau de communication BC était celui de 30 millimètres de diamètre. Le robinet D, à pleine ouverture, offrait une section de passage de 95 mm<sup>2</sup>. Quand il était fermé jusqu'à n'offrir plus que 2 mm<sup>2</sup> de sec-

(\*) Fait déjà rappelé au cours de l'étude sur les précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des tubes indicateurs, *loc. cit.*, p. 524.

tion libre, le tube de verre s'emplissait complètement : c'est ce qu'indique l'asymptote verticale correspondant à l'abscisse 2 sur la *fig.* 8. Pour des étranglements moindres, correspondant à des ouvertures de 35 mm<sup>2</sup>, 15 mm<sup>2</sup>, 5 mm<sup>2</sup>, on avait des élévations du niveau de plus en plus sensibles : la *fig.* 8 donne deux exemples des relèvements progressifs ainsi obtenus. Mais l'effet le plus curieux à observer était celui d'une ouverture du robinet pour laquelle la section libre était d'environ 2,5 mm<sup>2</sup>. Le niveau était alors instable et le régime oscillatoire : l'eau montait et descendait à intervalles fréquents, avec une amplitude d'oscillations de plusieurs centimètres ; parfois le tube finissait par s'emplir complètement et paraissait alors devoir rester plein ; dans un autre essai, où probablement l'ouverture du robinet correspondait plus rigoureusement à l'équilibre, le régime oscillatoire a semblé devoir durer indéfiniment.

On pouvait aussi obtenir un niveau incertain et un régime oscillatoire analogue, en étranglant à un degré convenable le robinet de communication inférieur G.

§ 2. Remarques sur le manque d'eau de Montreuil. — Ces constatations sont de nature à préciser les idées sur les troubles que certains étranglements peuvent apporter dans le fonctionnement des tubes de verre, et sur les apparences trompeuses auxquelles peuvent donner lieu certaines obstructions. La question est d'ailleurs complexe, et les perturbations possibles dépendent des circonstances particulières à chaque cas. Revenons, comme exemple, à celui du manque d'eau de Montreuil-sous-Bois.

D'après la *fig.* 3, lorsqu'un tuyau de communication de vapeur, comparable comme longueur, constitution et emplacement à ceux de nos expériences, mesure 20 millimètres de diamètre intérieur, et que la chaudière fonctionne sous la pression de 7 kg : cm<sup>2</sup>, c'est aux environs de 7 kilogrammes par mètre carré de surface intérieure

et par heure qu'il y a lieu d'estimer le taux moyen de la condensation.

Supposons ce chiffre applicable au tuyau de communication supérieur *mnp* de la chaudière de Montreuil : il se condensait donc dans ce tuyau 1,4 kg de vapeur par heure, soit par seconde 0,39 g, correspondant à un volume de 94 cm<sup>3</sup> de vapeur sous la pression de 7 kg : cm<sup>2</sup>, et à un volume d'eau de 0,4 cm<sup>3</sup> environ.

S'il n'y avait eu ni étranglement dans le système des tuyaux, ni perturbation dans le fonctionnement de la chaudière, le mouvement des fluides dans le sens *mnp*, causé par cette condensation, n'aurait sans doute pas engendré une perte de charge capable de modifier d'une manière sensible le niveau de l'eau dans le tube de verre.

Mais, pour expliquer les faits relatés par le chauffeur de Montreuil, ce n'est pas ainsi qu'il faut se représenter les choses.

Nous avons vu qu'un étranglement suffisamment fort du tuyau *mnp* peut relever le niveau de l'eau dans le tube de verre d'une quantité quelconque au-dessus du niveau réel. Comme hypothèse extrême, une obstruction complète en *m* fait rapidement monter le niveau de l'eau jusqu'à emplir de liquide tout le système. Ceci suppose, bien entendu, que l'extrémité *v* du tuyau inférieur plonge dans l'eau.

Or, faisons cette même hypothèse extrême d'une obstruction complète en *m*, mais en supposant que, par suite d'un manque d'eau (ou de l'existence d'un ciel de vapeur dans le bouilleur), l'extrémité *v* du tuyau de communication inférieur plonge dans la vapeur. Imaginons qu'à un certain instant il n'y ait que de la vapeur dans tout l'ensemble *mnprstuv*, et voyons, à partir de cet instant, ce qui va se passer.

La vapeur contenue dans *mnp* se condensant, il se fait un appel de vapeur dans le sens *vutsr*, tel que le tube de

verre est traversé de bas en haut par 94 cm<sup>3</sup> de vapeur à la seconde. En même temps, l'eau provenant de la condensation s'écoule dans le sens *mnpr*, et au point *r*, où existe un étranglement, il faut, pour qu'un régime s'établisse, que cette eau passe de haut en bas, à raison de 0,39 cm<sup>3</sup> par seconde, pendant qu'un volume 240 fois plus grand de vapeur surgit de bas en haut. La vitesse ascendante de la vapeur est 120 cm par seconde dans le tube de verre (94 : 0,785), mais elle est beaucoup plus grande au passage de l'étranglement *r*. On conçoit que l'eau repoussée et brassée par cette vapeur ne franchisse l'étranglement que par intermittences, et, ayant besoin d'une certaine charge pour forcer le passage, s'accumule sur une hauteur notable au-dessus du point *r*. Un phénomène analogue doit se produire aussi dans la partie verticale *pn* du tuyau de cuivre, au-dessus de l'étranglement existant en *p*. Quant au tuyau inférieur *rstuv*, on peut supposer que l'eau qui parvient à franchir le passage *r* et celle qui se forme par condensation dans ce tuyau inférieur lui-même s'écoulent, en sens inverse de l'ascension de la vapeur, sans que les mouvements s'y contrarient sensiblement, sauf peut-être dans une certaine mesure au-dessus du coude *t*.

Il est possible que, dans l'hypothèse où nous nous sommes placés, celle d'une obstruction totale en *m*, il ne puisse s'établir aucun régime avant que le tube de verre soit complètement plein. Si tel est le cas, c'est qu'il n'y avait pas lieu d'aller jusqu'à cette hypothèse extrême, et qu'il faut supposer, par exemple, qu'il existe seulement en *m* un étranglement. Dans cette nouvelle hypothèse, partons, comme ci-dessus, d'un instant où de la vapeur seule emplit le système depuis *m* jusqu'en *v*. Dans les premiers instants qui suivent, la vapeur appelée dans *mn* par la condensation trouve un chemin plus facile par *vutsr* qu'à travers l'étranglement *m* et le tuyau *mn* ; les choses

commencent donc par se passer à peu près comme dans notre première hypothèse ; mais, à mesure que l'eau s'accumulera au-dessus des points  $r$  et  $p$ , la pression baissera légèrement dans  $mn$ , une partie croissante de l'afflux de vapeur aura lieu par  $m$ , une partie décroissante par le chemin ascendant, et un régime s'établira pour une certaine hauteur de la colonne d'eau bouillonnante dans le tube de verre.

Ce niveau d'équilibre dynamique pourra d'ailleurs subir des oscillations, comme le niveau instable observé dans l'une de nos expériences. Si l'on ouvre le robinet de purge du tube de verre, toute l'eau sera chassée ; puis, une fois ce robinet refermé, le régime se rétablira progressivement comme ci-dessus.

On peut ainsi rendre compte des faits accusés par le chauffeur de Montreuil. Naturellement nous ne saurions affirmer l'exactitude de chacun des détails de l'explication ; mais, si cet ouvrier a été véridique, ce doit être, aux détails près, à un phénomène de ce genre que se rapporte son récit.

## BULLETIN.

## INDUSTRIE MINÉRALE DE LA RUSSIE EN 1895.

Le dernier *Compte rendu du Département des Mines*, en Russie, donne sur la production minérale ou métallurgique de ce pays en 1895 les renseignements approximatifs suivants :

Substances produites	Production tonnes
Combustibles minéraux.....	9.009 000
Naphte.....	6.978.000
Sel.....	1.548.000
Fonte.....	1.427.000
Cuivre.....	5.600
Zinc.....	5.000
Mercure.....	434
	kilogrammes
Or.....	41.402
Argent.....	3.531
Platine.....	4.416

Le document officiel néglige, dans la nomenclature qu'il donne, certains produits, dont la plupart n'offrent d'ailleurs qu'un intérêt médiocre. Nous le complétons en rappelant ci-dessous la production, en 1894, des substances omises.

	tonnes		tonnes
Plomb.....	743	Fer chromé.....	7.537
Étain.....	4	Pyrites de fer.....	19.801
Manganèse.....	243.496	Asphalte.....	16.054

Le nombre des ouvriers employés à l'extraction, à la préparation et à la fabrication des différentes substances dont on vient d'énumérer la production atteint, pour 1895, un total de 460.000 personnes, parmi lesquelles 89.000 travaillent aux mines d'or et de platine, 7.500 dans les exploitations de naphte, 22.000 sur les salines et 341.500 dans les hauts-fourneaux, fabriques et exploitations minérales diverses.

PRODUCTION DU PÉTROLE ET DE L'OZOKÉRITE EN GALICIE  
PENDANT L'ANNÉE 1895.

La production du pétrole en Galicie a été de 188.634 tonnes en 1895, au lieu de 111.930 l'année précédente. Elle s'est donc accrue de 76.704 tonnes, soit de 60 p. 100, en un an.

Le prix moyen a fléchi de 13 fr. 60 par tonne et a atteint seulement 58 fr. 46. La valeur totale a été sur le carreau de 11.026.952 francs.

Le personnel ouvrier s'est composé de 4.318 hommes et de 5 femmes. Il a présenté une augmentation de 1.048 hommes, mais une diminution de 26 femmes et de 3 jeunes gens, par rapport à l'exercice précédent.

La production de l'ozokérite a atteint 6.764 tonnes, 21 tonnes de plus qu'en 1894. Sa valeur a été de 4.594.494 francs, représentant un prix moyen de 679 fr. 25 à la tonne. Ce dernier indique une hausse de 101 fr. 05 par tonne.

Les ouvriers employés à l'extraction et à la préparation de l'ozokérite ont été au nombre de 4.870, soit 234 de moins qu'en 1894. Ils se décomposent de la manière suivante : 4.563 hommes, 287 femmes, 20 jeunes gens. On a compté 40 femmes et 18 enfants de plus que l'année précédente, 292 hommes de moins.

(Extrait du Statistisches Jahrbuch des k. k. Ackerbau-  
Ministeriums für 1895.)

## CONTRIBUTION

A

## L'ÉTUDE DES GITES MÉTALLIFÈRES

I. — SUR L'IMPORTANCE DES GITES D'INCLUSIONS ET DE SÉGRÉGATION  
DANS UNE CLASSIFICATION DES GITES MÉTALLIFÈRESII. — SUR LE RÔLE DES PHÉNOMÈNES  
D'ALTÉRATION SUPERFICIELLE ET DE REMISE EN MOUVEMENT  
DANS LA CONSTITUTION DE CES GISEMENTS

Par M. L. DE LAUNAY,

Ingénieur des Mines, Professeur à l'École supérieure de Mines.

Le présent mémoire a pour but d'exposer un certain nombre d'idées théoriques, relatives à la constitution et, comme conséquence, à la classification des gites métallifères, que nous ont suggérées, depuis plusieurs années, l'observation personnelle, l'étude et la comparaison d'un très grand nombre de ces gisements.

Ces idées, bien que touchant à beaucoup de faits très différents les uns des autres, se rattachent néanmoins toutes à une même doctrine et nous conduisent à quelques conclusions très générales, que nous croyons devoir indiquer dès le début, pour montrer comment nous envisageons, dans leur principe, les phénomènes dont il sera question plus loin. Nous serons amené ainsi à résumer rapidement toute une théorie sommaire du mode de formation des gites métallifères, en insistant sur les types nouveaux que nous avons distingués sous le nom de gites d'inclusions et de ségrégation, pour examiner ensuite (ce

qui est notre objet essentiel) dans quelle mesure la circulation des eaux superficielles a pu modifier ces divers gîtes, ou contribuer à leur formation. Les exemples de gisements, que nous choisirons, seront, de préférence, pris parmi ceux que nous avons visités par nous-même et que nous n'avons pas encore eu l'occasion de décrire (\*).

Le point de départ *initial* de tout gîte métallifère doit, à notre avis, être cherché dans un bain métallique (\*\*) interne, maintenu en fusion sous des actions réductrices, où doivent intervenir le carbone, l'hydrogène et peut-être le soufre, et dont les météorites d'abord, puis les péridotites, enfin les roches basiques (\*\*\*) nous offrent des spécimens de plus en plus altérés, de plus en plus oxydés. C'est par l'examen de ces magmas basiques que doit débiter rationnellement l'étude des gîtes métallifères, et il est particulièrement intéressant d'envisager, à ce point de vue, une nouvelle catégorie de gîtes, que nous avons proposé d'ajouter aux deux catégories classiques des *filons* et des *sédiments*, comme un type moins déformé, moins remanié que ceux-ci, les gisements d'*inclusions* et ceux de *ségrégation*

(\*) Quelques-uns des résultats énoncés plus loin ont déjà été communiqués à l'Institut (*Comptes Rendus* des 22 et 29 mars et 14 juin 1897).

(\*\*) Nous éviterons le mot de laccolithe, qui est commode, mais dont on a abusé. Les laccolithes de Gilbert, dans l'Utah, n'étaient, en réalité, que des intrusions superficielles de masses trachytiques dans des sédiments, intrusions dont on n'a d'ailleurs jamais vu le noyau supposé. Il nous semble extrêmement exagéré de vouloir, comme c'est un peu la mode aujourd'hui, faire dériver toutes les roches, y compris les granites, de la différenciation d'intrusions semblables. Nous croyons, d'ailleurs, qu'après avoir combattu jadis très justement les cratères de soulèvement, on revient actuellement à attribuer aux roches éruptives une puissance de soulèvement par intrusion très exagérée.

(\*\*\*) La densité croît, d'après M. Daubrée, du granite (2,60) aux laves pyroxéniques (2,90), aux péridotites (3,40), aux météorites ordinaires (3,5), et enfin aux météorites de fer natif ou holosidères (8).

Il est très remarquable de constater que les péridotites semblent un produit plus oxydé que les météorites; on peut, en effet, passer de celles-là à celles-ci en les chauffant en présence du carbone, dont le rôle, dans le magma profond, paraît avoir été considérable.

*tion directe*, gisements restés en relations absolument intimes avec les roches basiques, dont nous supposons que tous les autres proviennent plus ou moins immédiatement.

De pareils bains métalliques profonds semblent avoir donné, par divers modes de dérivation: d'une part, toutes les roches constituant notre écorce terrestre, et, d'autre part, tous les gîtes minéraux et métallifères, qui n'en sont qu'un accident ordinaire, auquel, seules, des considérations pratiques font attacher une importance spéciale.

Cette dérivation s'est faite *anciennement*, sous deux formes:

1° Par scorification directe, avec prépondérance des actions ignées, à l'état de roches de plus en plus acides à mesure qu'on s'élevait plus haut dans les bains de coupellation internes, et que les actions oxydantes, probablement d'origine superficielle, parmi lesquelles nous attribuons le rôle prépondérant aux introductions d'eau, se faisaient plus sentir.

Cette scorification paraît avoir été accompagnée de la ségrégation directe de certains nodules, ou amas encore plus basiques et arrivant à constituer de véritables gîtes métallifères, de fer, chrome, nickel, cuivre, etc., au moyen des éléments métalliques, d'abord disséminés à l'état d'inclusions dans les roches en fusion;

2° Par dégagement hydrothermal, c'est-à-dire avec prépondérance des actions aqueuses et intervention bien marquée de certains éléments minéralisateurs, propres à donner aux métaux la mobilité qui leur faisait défaut.

A ces deux modes de dérivation, que relie, comme dans tout phénomène naturel, des cas de transition, ont correspondu deux formes principales de gîtes filoniens, c'est-à-dire de gîtes déposés dans les fractures de l'écorce terrestre, formes que l'on a eu raison de séparer, tout en exagérant peut-être trop la démarcation et supprimant les catégories intermédiaires: les gîtes rocheux ignés,

avec inclusions et ségrégations métalliques, les gites hydrothermaux. Leur étude d'ensemble occupera la première partie de ce mémoire.

La dérivation, dont il vient d'être question, a, nous le répétons, suivant nous, eu lieu *anciennement*, avant la consolidation du magma igné à base métallique et, par là, nous nous séparons entièrement de l'école allemande (\*), qui ne voit, dans les gites métallifères, que des phénomènes de sécrétion récents et superficiels, produits par une sorte de lessivage des roches déjà consolidées et par la dissolution de leurs éléments dans les eaux; mais, d'autre part, nous trouvons que, dans l'ancienne école française, on a un peu trop négligé ces actions superficielles (\*\*), qui, assurément, ne sont pas tout le phénomène, qui, surtout, n'en sont pas la cause première, comme l'ont soutenu les Allemands, mais qui, souvent, l'ont assez profondément modifié pour lui imprimer sa forme actuelle.

Cette forme actuelle est parfois si caractéristique, que des géologues, pénétrés des idées françaises, remarquant l'évidente relation de certaines variations de la minéralisation dans les filons avec la distance à la surface, ont cru pouvoir en conclure l'importance du rôle joué par cette surface actuelle, lors de la formation des gisements, considérés pourtant par eux comme déjà fort anciens: ce qui entraînait à des impossibilités, dans la plupart des cas où, tant par l'érosion seule que par les phénomènes dynamiques de tous genres auxquels l'écorce a pu être soumise, la surface actuelle n'a certainement plus aucun rapport avec celle qui existait lors de la cristallisation des filons.

(\*) C'est cette école qu'avait suivie, en France, un chimiste distingué, M. Dieulafait, dont nous rappellerons plusieurs fois les travaux.

(\*\*) Chacun connaît cependant les pages consacrées à cet ordre de questions par Daubrée dans ses *Eaux Souterraines*.

A notre avis, cette influence de la surface au moment du remplissage des filons d'origine profonde, qui est très admissible théoriquement et que l'on a pu rationnellement invoquer, dans certains cas, pour expliquer des variations du gîte avec la profondeur, en admettant qu'il avait dû en résulter, soit un abaissement de température, soit une diminution de pression, n'a eu, en pratique, sur l'allure actuelle des gisements, qu'un rôle à peu près nul, précisément parce que nous ne voyons presque jamais ce qui était la zone superficielle au moment où ces filons se sont remplis, et la plupart des modifications que l'on a ainsi interprétées nous semblent précisément rentrer dans la catégorie de celles, dues à des remises en mouvement récentes, que nous nous proposons d'étudier particulièrement dans la seconde partie de ce mémoire.

Ailleurs encore, prenant des produits de remaniements chimiques pour le gîte initial et constatant que ces dépôts avaient un rapport avec l'allure des vallées actuelles, avec des grottes, ou même englobaient des ossements modernes, on en a conclu, un peu trop vite, que la formation du gisement tout entier, que l'arrivée du métal dans l'ensemble des fractures ou des amas examinés était extrêmement récente.

C'est, par dessus tout, sur le rôle trop méconnu de ces phénomènes secondaires, qualifiés par nous de *remises en mouvement*, que nous désirons insister ici; car ils nous semblent permettre de raccorder les théories, en apparence tout à fait contradictoires, des géologues allemands et français, en distinguant de la venue filonienne primitive, rattachée, suivant les idées d'Élie de Beaumont, aux actions internes, les modifications postérieures, considérées par les Allemands comme l'origine même du gîte et qui, en réalité, dans notre théorie, n'ont fait que déplacer, d'un point à un autre du terrain, des métaux d'origine profonde et déjà préexistants.

Tout, à vrai dire, dans l'histoire du globe, n'est que remise en mouvement; tout, suivant une expression bien connue, est à l'état de perpétuel *devenir*, et le dégagement des métaux en fumerolles, leur cristallisation ancienne dans les filons, avec les déplacements successifs de métaux qui semblent souvent s'y être produits par la continuation du phénomène hydrothermal, notamment à la rencontre de croiseurs, sont déjà de premiers déplacements de ce genre.

A un degré bien plus marqué encore, le métamorphisme, dont le rôle, dans la formation de l'écorce terrestre, est probablement beaucoup plus considérable qu'on ne le suppose, — et qui peut très bien avoir constitué les granites, par exemple, aux dépens d'anciens sédiments, comme on s'est décidé aujourd'hui à admettre qu'il a produit les gneiss (\*), — est lui-même une remise en mouvement.

(\*) On sait que l'origine métamorphique des gneiss et micaschistes, soutenue par nous, depuis dix ans, à l'exemple de notre maître, M. Michel Lévy, rallie des partisans de plus en plus nombreux, et nous pensons qu'on renoncera bientôt à chercher, dans ces terrains, dits primitifs, de prétendues successions stratigraphiques, dont l'apparence n'est due qu'à l'intensité plus ou moins grande du métamorphisme. De même, nous sommes porté à croire que nombre de roches éruptives — et peut-être, en premier lieu, les granites — enferment une forte part d'anciens débris sédimentaires soumis à une recristallisation, et nous croyons, notamment, que la présence et l'abondance plus ou moins grande du mica noir ou de l'amphibole sont simplement l'indice de la nature, ou aluminieuse, ou calcaire, des bains ainsi absorbés et refondus.

L'apport réellement interne pourrait bien, dans nombre de roches acides, être représenté surtout par les alcalis, arrivés peut-être à l'état de carbonates, ou de chlorures et fluorures sous pression. La véritable scorie profonde, ce sont les roches basiques; aussi est-ce avec elles qu'on trouve la majeure partie des métaux proprement dits, et spécialement, presque tous les sulfures de fer, nickel, cuivre, etc. Les objections faites récemment par M. Brögger à cet ordre d'idées ne nous paraissent pas convaincantes, et il nous semble surtout qu'il a énormément exagéré la régularité de l'ordre d'alternance des éruptions acides et basiques en une même région, pour en conclure un argument en faveur de sa différenciation en vase clos. A Mételin, par exemple (C. R., 20 janvier 1890), nous avons étudié une série éruptive, dont la basicité paraît avoir été constamment en croissant avec le temps.

Remise en mouvement aussi, le phénomène qui a déterminé la concentration, dans certains bassins de sédimentations fermés, de substances empruntées mécaniquement ou chimiquement aux parois de ce bassin.

Mais, laissant de côté cet ordre de questions trop général, ce que nous voulons tout spécialement étudier, pour le moment, ce sont les remises en mouvement récentes, caractérisées nettement par leur localisation dans la zone superficielle des terrains, où circulent les eaux, alimentées d'oxygène par l'air, et produites par la circulation même de ces eaux.

Cette zone, que nous qualifions ainsi de superficielle et qui est bien limitée, à sa base, par le niveau hydrostatique de la contrée minéralisée, correspondant au thalweg des vallées principales, peut, en réalité, dans les régions très accidentées, comme les pays de montagnes, où se trouvent la plupart des filons métallifères, affecter une hauteur de plusieurs centaines de mètres, c'est-à-dire une partie relativement très considérable de ces filons, et surtout leur portion la plus facilement abordable, celle où les travaux sont, à la fois, les moins coûteux et souvent les plus productifs, par la nature même des minerais: par suite, celle que les mineurs ont eu le plus d'occasions d'examiner, et qu'ils ont, trop souvent, considérée comme représentant l'état initial, donc la forme immuable du dépôt.

L'attention n'ayant pas été appelée, jusqu'ici, sur les phénomènes d'altération, dont ce mémoire cherche précisément à signaler la grande importance, on ne s'est pas assez occupé, en général, d'étudier, à la lumière d'une théorie rationnelle, les modifications observées dans la profondeur des filons et considérées, trop souvent, comme accidentelles, ni de les rapporter au profil extérieur du terrain, donnant le niveau hydrostatique. C'est un ordre d'observations qu'il serait pourtant bien intéressant de multiplier.

La catégorie de phénomènes, dont nous allons nous occuper, est, en grande partie, réglée par des lois chimiques, et, là encore, nous nous séparons de certaines théories relatives aux gîtes métallifères, où le côté physique et mécanique de leur structure est particulièrement considéré. Mais nous croyons que les conditions du dépôt des métaux dans les gisements, aussi bien que celles de leur remise en mouvement, ont été l'effet d'une sorte de métallurgie naturelle, indéfiniment prolongée, à travers les temps géologiques, par le feu et par l'eau, en présence de quelques agents très simples, comme les acides sulfurique, carbonique, chlorhydrique et nitrique, ou leurs sels : métallurgie qui a eu constamment pour effet de séparer, de classer, par ordre de solubilité, les métaux, d'abord confondus pêle-mêle dans le premier bain interne, c'est-à-dire, en résumé, de purifier, de simplifier d'avance les produits, destinés plus tard à être traités par la métallurgie humaine, en favorisant, presque toujours, le travail de celle-ci.

Cette métallurgie naturelle a été, on le conçoit, d'autant plus active et d'autant plus efficace, les remises en mouvement récentes ont été d'autant plus accentuées que le métal se présentait primitivement sous une forme plus aisément soluble : en sorte qu'il est certains cas où ces phénomènes ont frappé tous les observateurs et où leur caractère réel n'a jamais été contesté.

Ainsi les métaux alcalins et alcalino-terreux sont arrivés, chacun le sait, à être, presque exclusivement, groupés et concentrés aujourd'hui sous cette forme, essentiellement secondaire et due à l'intervention des eaux dissolvantes et corrodantes, que l'on appelle des sédiments.

Nul ne saurait dire quelle est l'origine première de la soude, de la potasse, de la chaux ou de l'alumine, ainsi accumulées dans les couches sédimentaires ou les mers ; mais il est certain que les mêmes éléments se trouvent, en très grande

abondance, à l'état de silicates, dans toutes les roches cristallines, dont l'érosion, pendant des durées de siècles extrêmement prolongées, aurait très bien pu suffire à fournir ces bases aux mers, à moins, ce qui est également possible, que roches et mers ne les aient primitivement puisés à la même source profonde.

Quand il s'agit de substances aussi abondantes et aussi aisément mobiles que le gypse, le carbonate de chaux, l'oxyde de fer ou la silice, l'observation la plus élémentaire montre encore qu'il peut se constituer, par un simple transport superficiel, des veinules sans racine profonde et sans continuité, assimilables, au premier abord, à de vrais filons, mais auxquelles on a eu parfaitement raison d'appliquer l'hypothèse de la sécrétion latérale.

Il est même un sulfure métallique, pour lequel la possibilité d'un transport de ce genre est admise par tous, c'est la pyrite de fer, qui, rendue soluble par son oxydation en sulfate, va se reprécipiter sur toutes les matières organiques réductrices qu'elle peut rencontrer.

Mais, ce que l'on sait moins et ce que nous désirons montrer, c'est que des déplacements analogues se produisent, avec plus ou moins de facilité et d'intensité, pour presque toutes les substances métalliques.

La nature des réactions ainsi produites dépend naturellement de l'état sous lequel se présente le métal dans son gîte primitif et nous croyons, par suite, nécessaire, pour mettre un peu d'ordre dans la description, de commencer par classer ces gisements en quelques catégories distinctes, suivant la nature des combinaisons que l'on y rencontre et l'origine que nous leur attribuons.

Dans ce qui va suivre, nous laisserons absolument de côté la formation des gîtes sédimentaires, pour laquelle la remise en mouvement va de soi et ne peut être discutée, puisque c'est elle seule qui a produit, par une concentration naturelle, tout l'ensemble du dépôt ; mais les phé-

nomènes d'altération, dont il sera question plus loin, peuvent — et cela se conçoit — s'appliquer aussi bien à l'affleurement d'une strate qu'à celui d'un filon.

Étant donnée, dès lors, l'origine première, que nous avons attribuée plus haut aux gîtes métallifères, il est certain que le cas le plus simple est celui où les métaux ne se sont pas séparés du magma métallique primitif, — ou, du moins, de la scorie qui en dérive directement — et où nous les retrouvons, dans ces scories (c'est-à-dire dans les roches éruptives), tantôt entrés en combinaisons avec la silice, tantôt seulement associés à l'oxygène, plus rarement au soufre, ou enfin à l'état natif. C'est cette catégorie de gîtes que nous appelons les *gîtes d'inclusions*. Nous examinerons ensuite les *gîtes de ségrégation directe* et les *filons* proprement dits.

## PREMIÈRE PARTIE.

### Essai de classification théorique des Gîtes métallifères. — Nature et Importance des Gîtes d'Inclusions et de Ségrégation.

A. — *Gîtes d'inclusions*. — Les gîtes d'inclusions ont été, jusqu'ici, négligés par les géologues, parce que leur importance pratique, à moins de cas très spéciaux, est généralement faible, sauf pour les substances de grande valeur, comme l'or, le platine, l'étain, le diamant; mais il n'est pas moins vrai — et c'est un des résultats intéressants obtenus, dans ces dernières années, par les analyses des chimistes — que tous les métaux existent à cet état d'inclusions dans les roches, et nous venons même de rappeler que l'école allemande en a conclu la formation de

tous les gîtes métallifères par un simple lessivage superficiel de ces inclusions (\*).

Pour préciser ce que nous entendons par gîtes d'inclusions, nous dirons que ce sont les gisements, où un minéral

(\*) Parmi les travaux dans cet ordre d'idées, nous citerons : KILLING, *über den Gneiss des N. O. Schwarzwaldes und seine Beziehungen zu den Erzgängen* (Wurtzbourg, 1878, 30 p.; résumé dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1878, p. 657).

Suivant lui, c'est le mica du gneiss qui aurait fourni les métaux aux filons de la Forêt Noire: il contiendrait: PbO, 0,028; CuO, 0,070; BiO, 0,0056; ChO, 0,0094; Fl, 0,028. Un mètre cube (2.720 kilogrammes) de gneiss, entièrement dissous, pourrait fournir 133 grammes de galène, 564 de pyrite de cuivre, ou 191 grammes de cuivre, 9.384 de barytine et 1.959 de fluorine.

Si l'on admettait, dans la théorie de lessivage adoptée par Dieulafait, que le bassin cuprifère du Mansfeld résultât d'une dissolution de roches semblables, on voit que cette couche, de 500 kilomètres carrés de surface, avec une moyenne de 130 kilogrammes de cuivre au mètre carré, soit, au total, plus de 50 millions de tonnes de cuivre, aurait exigé la dissolution complète de 250 milliards de mètres cubes de gneiss, ou d'une montagne ayant, sur 500 mètres de hauteur, 50 kilomètres de long et 10 kilomètres de large et qu'il aurait fallu ensuite la précipitation intégrale des substances disséminées dans l'énorme quantité d'eau qu'aurait exigée une semblable érosion.

Par une erreur de raisonnement, qui a été faite souvent, M. Killing se fonde, d'ailleurs, sur ce que les gneiss frais sont plus riches en métaux que les gneiss altérés (ce qui est évident *a priori*, l'altération ayant dû comporter une dissolution partielle), pour conclure que cette altération a fourni le métal aux filons de la région.

Un autre travail intéressant dans le même ordre d'idées est celui de Sandberger (*Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 2 novembre 1877, p. 377 à 381, 389 à 392).

Il a porté spécialement sur la recherche, dans les minéraux ferromagnésiens de la Forêt Noire, de la barytine, de la fluorine, du cuivre, du nickel, etc. L'olivine est, cela se conçoit, la plus riche; l'hornblende et l'augite ont, presque toujours, contenu des traces de cobalt; le cuivre, plus irrégulier, est parfois plus abondant. Le mica noir a donné des résultats analogues. L'auteur a remarqué que les formations de cuivre et de plomb, sur les laves du Vésuve ou d'autres volcans, doivent avoir été empruntées à l'augite des laves. Comme il le dit en terminant, ses analyses ont simplement confirmé ce qu'il était aisé de prévoir: à savoir, l'existence des métaux lourds en traces dans les silicates des roches.

M. Dieulafait, qui n'a guère fait qu'introduire plus tard ces idées en France, s'est attaché, de même, à reconnaître la présence du zinc, du manganèse, etc., dans les terrains du Plateau Central, au voisinage de gisements de ces métaux; il a constaté que la présence du zinc pouvait être reconnue sur 1 gramme d'un échantillon quelconque; celle du cuivre et du manganèse, sur 10 grammes. L'eau de la mer a donné lieu à des constatations analogues.

pratiquement utilisable se présente dans les mêmes conditions que les autres éléments constitutifs d'une roche, généralement étudiés en pétrographie, c'est-à-dire s'y est consolidé en même temps que les autres minéraux, ou développé par une réaction secondaire immédiate, sans qu'il y ait eu transport à distance sous des influences hydrothermales et filoniennes (\*).

Ainsi, dans les trachytes à apatite de Jumilla, au cap de Gate, l'apatite, disséminée en cristaux de première consolidation dans la pâte, forme un gîte d'inclusions phosphatées, et on peut en dire autant pour les filons d'Oddegarden en Norvège, où l'apatite est associée avec mica noir, enstatite et hornblende; de même encore, le diamant dans la brèche à olivine du Cap; l'émeraude dans les granulites de l'Oural; la magnétite dans certains granites à magnétite (\*\*), d'où l'on a extrait les cristaux du minerai par un simple lavage, au Japon (province de Harima); la cassitérite dans nombre de granulites, formant, par elles-mêmes et indépendamment de tout filon, des gîtes stannifères; l'or dans diverses diorites, dont toute la masse contient des traces éparses du métal précieux, etc.

Les conditions sont nécessairement très différentes, suivant que l'on considère des roches acides ou des roches basiques, et ceci nous amène forcément à faire une courte

(\*) On remarquera que, par la création de ce type nouveau de gisements, nous faisons disparaître la différence théorique que l'on semblait établir jadis entre les *minéraux* inutilisables, constituant les roches et les *minerais* utilisables, formant les filons. Il eût été assez singulier que la nature eût adopté deux modes de formation complètement distincts pour les substances minérales, suivant que l'homme devait, ou non, en faire un usage pratique. Cette apparente distinction, qui correspond pourtant dans une certaine mesure à un fait réel, tient seulement à ce que les métaux proprement dits, étant plus denses et donnant, avec l'oxygène, des bases moins énergiques, n'ont pu être apportés vers la superficie que plus exceptionnellement, par les influences spéciales auxquelles sont dus les filons. Mais il existe, comme dans tout phénomène naturel, une série de cas intermédiaires.

(\*\*) *Ann. des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. VI, 1874, p. 345: Traitement du minerai de fer au Japon, par D. Sevoz.

digression sur la composition chimique des roches, afin de montrer comment les métaux se sont répartis entre elles à l'état d'inclusions, sans vouloir cependant, cela va de soi, aborder la discussion très compliquée des théories récemment émises par MM. Rosenbusch, Iddings, Brügger, Vogt, etc., sur ce qu'ils appellent la différenciation (*spaltung*) des magmas.

Les roches acides sont, par définition même, celles où la silice est la plus abondante et, pour préciser, celles où la teneur en silice atteint ou dépasse celle des feldspaths les plus acides: l'albite (68 p. 100) et l'orthose (66 p. 100) (l'analyse portant sur la pâte, indépendamment des cristaux de formation antérieure). On arrive ainsi à des types extrêmement chargés d'oxygène, pouvant en contenir jusqu'à 50 p. 100 (la teneur de la silice en oxygène étant de 53 p. 100).

Le fait fondamental et essentiel, dans cette scorification qui a produit les roches, étant la combinaison d'un magma réducteur et carburé avec l'oxygène, venu plus ou moins directement de l'extérieur, les premiers métaux, qui ont dû monter à la surface du bassin de coupellation et prendre, dans les roches acides, une part prépondérante, ont naturellement dû être ceux que l'affinité la plus puissante attirait vers l'oxygène et qui, par suite, forment avec lui des combinaisons tellement tenaces que les efforts de la chimie ont été longtemps impuissants à les en isoler: ainsi, en dehors de l'hydrogène (ou du carbone, dont le rôle est spécial), le potassium, le sodium, l'aluminium, le magnésium; puis le calcium, le baryum, le strontium et, à un degré moindre, le fer, comme éléments basiques et, d'autre part, le silicium (ou, exceptionnellement, ses homologues, le titane et l'étain) jouant le rôle d'acides (\*).

(\*) Le silicium et le titane, l'aluminium et le magnésium, le calcium, le baryum et le strontium n'ont pu être obtenus à l'état libre que par

Les métaux moins oxydables sont restés dans le fond des magmas et ne se sont élevés vers le jour que par l'intervention de minéralisateurs spéciaux, dont le rôle paraît avoir été considérable également dans la cristallisation des roches acides, minéralisateurs au premier rang desquels il faut compter le fluor, puis le soufre.

Par une coïncidence, qui doit tenir à une loi naturelle très générale, les éléments avides d'oxygène se trouvent être, en même temps, dans l'ensemble, les plus légers: ce qui fait aisément comprendre comment, montés d'abord à la surface des magmas internes, ils ont constitué la presque totalité des roches et surtout des roches acides.

En résumé, il paraît bien difficile d'expliquer cette sorte de classification naturelle, qu'une lente métallurgie interne a produite entre les divers métaux, tout d'abord confondus dans un même creuset, sans faire intervenir plusieurs actions distinctes: d'une part, la densité; de l'autre, des affinités plus ou moins fortes pour certains métalloïdes, dont l'un, l'oxygène, a surtout un rôle capital dans la formation des roches, tandis que les autres, fluor, soufre, etc., sont plutôt intervenus dans la production des filons métallifères.

l'électricité, avec des précautions spéciales pour éviter la réoxydation, ou en faisant intervenir le sodium métallique. Mis en présence de l'oxygène, ils ont toujours une forte tendance à se combiner avec lui: surtout, dans le cas du silicium, quand il existe, au contact, une base, comme un alcali, capable de donner un silicate fusible. Nous n'avons pas besoin de rappeler l'analogie bien connue entre le silicium et le carbone, qui fait penser que le premier corps s'est trouvé, au même titre que le second, dans le bain métallique interne, d'où sont dérivées les roches; mais le silicium paraît être parti tout entier vers l'extérieur, avec l'oxygène, tandis que le carbone est resté, sans doute, en grande partie, dans le fond métallique des creusets. On a remarqué que l'oxygène formait 50 p. 100 de la croûte terrestre superficielle, le silicium 28 p. 100, et qu'avec l'aluminium, le magnésium, le calcium, le potassium, le sodium, le fer et le carbone, on arrive à  $\frac{977}{1000}$ : ce qui montre le caractère exceptionnel des autres métaux plus lourds, probablement encore concentrés dans le noyau dense de notre globe.

Dans ces magmas rocheux, la silice, qui est, pour les roches, l'élément acide par excellence, a saturé d'abord les bases les plus fortes, c'est-à-dire les alcalis et l'alumine, puis la chaux et, en dernier lieu, la magnésie (\*) et le fer. Suivant sa proportion plus ou moins élevée, la roche a été acide ou basique.

On a fait observer, depuis longtemps, combien la correspondance remarquable, qui existe entre le degré d'acidité ou d'oxydation et la densité ou la profondeur originelle des magmas, était une forte preuve en faveur de l'hypothèse d'une production des roches par la coupellation progressive d'un laccolithe fluide (\*\*) (ce qui n'exclut nullement l'absorption possible par ces magmas d'anciens sédiments, ayant pu se refondre et recristalliser dans les roches). On retrouve, dans le détail, pour la répartition des métaux eux-mêmes dans les roches, un rapport analogue avec la densité, un peu moins précis pourtant, parce que d'autres propriétés chimiques sont intervenues.

Ainsi l'élément le plus caractéristique des roches acides, après la silice, c'est l'alumine, qui fait à peu près complètement défaut dans les silicates des roches basiques (\*\*\*) (pyroxène, péridot, etc.), tandis qu'elle entre, comme élément intégrant, dans les feldspaths, feldspathoïdes et micas des roches acides, arrivant même à être en excès sur la composition feldspathique dans certaines roches très micacées. Parmi les résultats remarquables

(\*) La teneur en magnésie est, bien plus que celle en fer, caractéristique du degré de basicité des roches.

(\*\*) C'est, dans cet ordre d'idées, un fait remarquable que la loi générale, formulée pour la première fois par M. Fouqué dans son mémoire sur Santorin et précisée dans son ouvrage récent sur les feldspaths, d'après laquelle, dans les roches microlithiques à deux temps de consolidation, les microlithes, formant la pâte solidifiée en dernier lieu, sont toujours plus acides que les cristaux de feldspath du premier temps, infratelluriques.

(\*\*\*) L'amphibole en contient pourtant une petite quantité, et l'on en trouve même dans le pyroxène.

du mode de comparaison et de rapprochement graphique, que vient d'imaginer M. Michel Lévy pour mettre en lumière, dans la composition des roches, d'une part la teneur en éléments feldspathiques, de l'autre celle en éléments ferrugineux (\*), l'un des plus frappants est l'affinité intime, qui attire constamment l'alumine vers la silice, la magnésie vers la chaux. Il est tout à fait exceptionnel de voir de l'alumine avec de la chaux en excès (non combinée, elle-même, à la silice), sauf dans certains kersantons.

Si nous prenons, par exemple, deux types extrêmes, l'un acide, l'autre basique, un granite contient, en moyenne, 68 p. 100 de silice et 16 p. 100 d'alumine, tous les autres corps comptant seulement pour 16 p. 100, dont moitié d'alcalis; une péridotite renferme 40 p. 100 de silice et 60 p. 100 de magnésie et d'oxyde de fer.

Or les deux poids atomiques du silicium (28) et de l'aluminium (27,5) sont, non seulement presque identiques, mais encore les plus faibles de tous ceux des éléments constituant les roches, si l'on excepte la soude (23), qui, en effet, forme le feldspath le plus acide, l'albite, et entre, par les plagioclases, en fortes proportions dans les roches acides.

La coïncidence n'est pas aussi complète pour les autres métaux des roches; mais, néanmoins, dans l'ensemble, ceux qui prennent part normalement à la composition des roches sont ceux dont les atomes sont les plus légers: Na = 23; K = 39; Mg = 24; Ca = 40; Mn = 55; Fe = 56; Cr = 57,5; Ni = 59. D'une façon générale, la chaux et la magnésie (\*\*) caractérisent les roches basiques; l'alumine

(\*) Ces études ont le grand avantage de faire intervenir, dans la détermination pétrographique, la *proportion* des éléments considérés, tandis que, jusqu'ici, en se bornant à un examen microscopique, on n'appréciait que leur nature.

(\*\*) Dans le granite et la granulite, les feldspaths dominants sont l'orthose, le microcline et l'albite, c'est-à-dire des feldspaths potassiques et sodiques. Les plagioclases calcosodiques n'apparaissent qu'accessoire-

et les alcalis les roches acides, beaucoup plus que ne peuvent le faire le fer ou le silicium, dont la présence est un peu banale et dont la proportion seulement est à considérer (\*).

Plus nous tendons vers des types basiques, plus l'alumine et la silice disparaissent, plus la magnésie et le fer augmentent; le péridot, caractéristique de ces roches, est un silicate de magnésie plus ou moins ferrugineux; en même temps, la proportion d'oxygène diminuant, le fer, qui était en oligiste, c'est-à-dire en sesquioxyde, dans les roches acides, passe à l'état de magnétite, c'est-à-dire d'oxyde incomplet, de protoxyde combiné à la silice, ou même de fer natif, dans les roches basiques.

Quant aux métaux plus élevés dans la série et dont le poids atomique est plus considérable, ils n'apparaissent en quantité un peu notable qu'avec les roches les plus basiques, notamment dans les péridotites, ou à l'état de traces dans l'augite des diabases ou les micas de diverses roches, et, lorsqu'ils existent dans les scories plus légères, plus oxydées, c'est en vertu d'une autre catégorie de phénomènes, dont l'influence arrive immédiatement après la densité, l'action des minéralisateurs et des dissolvants.

---

ment et, ce semble, par refusion d'éléments calcaires empruntés à des terrains préexistants, qui, en même temps, forment de l'amphibole (Lacroix, *Min. de la France*, 1, 32). Au contraire, dans les diorites, diabases et gabbros, les feldspaths essentiels sont des plagioclases, qui, dans les termes très basiques, aboutissent même à de l'anorthite, le feldspath calcique. La magnésie et le fer commencent à se montrer dans certains plagioclases, mais jouent surtout un rôle dans les micas.

(\*) Ces éléments ordinaires des roches sont, comme il est aisé de s'y attendre, ceux qui constituent la presque totalité des gîtes sédimentaires, ceux-ci ne résultant évidemment que de la destruction, de la remise en mouvement chimique ou mécanique de celles-là et, pour la même raison, ce sont également ceux qui jouent un rôle prépondérant dans la composition des mers, où se triturent constamment les roches et se reforment les sédiments. Mais cette eau de la mer, par un phénomène bien naturel, que les analyses de quelques chimistes patients ont mis en lumière avec un peu trop de fracas, contient, en outre, des traces plus ou moins sensibles de tous les métaux contenus dans les roches.

Parmi les éléments accessoires, dont l'intervention dans les roches est très ordinaire, bien que leurs fortes densités ne le fassent pas prévoir, on peut citer le baryum (137) et le strontium (87,5) : ce qui peut s'expliquer par l'analogie de leurs propriétés chimiques avec celles du groupe calcaire.

Dans les roches basiques, considérées comme correspondant au fond du creuset plus dense et moins oxydé, les inclusions métalliques, à l'état d'oxydes incomplets ou de sulfures, jouent un rôle singulièrement plus important que dans les roches acides : ce qui, entre autres raisons, peut tenir à ce fait que, l'oxygène et la silice ayant fait défaut, ces métaux, même lorsqu'ils étaient susceptibles d'entrer en combinaison silicatée (comme c'est le cas pour le fer), sont demeurés dans un état de liberté relative. C'est, de même, dans ces roches plus fluides que se sont produites les ségrégations, les différenciations les mieux caractérisées.

Le fer des roches basiques est, tout au plus, à l'état d'oxyde neutre  $\text{Fe}^2\text{O}^3$ , sous forme de magnétite, ou de protoxyde  $\text{FeO}$ , combiné avec la silice dans les péridots ; mais on le trouve aussi en sulfure, très fréquent dans les diabases, ou même en fer natif (\*).

Avec lui, apparaît le phosphore, son fidèle compagnon dans tous les gisements où il n'en a pas été séparé par une épuration naturelle, souvent due au métamorphisme.

(\*) On connaît les deux exemples classiques de fer natif, dans les deux cas nickelifère : à Ovivak, au Groënland, dans une dolérite traversant un terrain tertiaire bitumineux et charbonneux, à l'influence réductrice duquel on a voulu attribuer ce fer natif ; en Nouvelle-Zélande, à l'état d'awaruite contenant 68 de nickel pour 31 de fer, dans une péridotite à spinelle et enstatite. Le fer d'Ovivak contient, pour 1 de nickel, 1/3 de cobalt et 1/5 de cuivre, proportion qui est à peu près celle des pyrrhotines norvégiennes.

M. Vogt a cité d'autres fers nickelifères à Elvo, en Piémont, et à Joséphine, en Orégon.

Le chrome suit une fortune analogue, soit en spinelle, picotite assimilable à la magnétite, soit en fer chromé. Les trois sesquioxides  $\text{Fe}^2\text{O}^3$ ,  $\text{Cr}^2\text{O}^3$  et, plus rarement,  $\text{Al}^2\text{O}^3$  se montrent ensemble dans les péridotites.

Le nickel et le cuivre sont à l'état de sulfures dans la pyrite magnétique, ou la pyrite de fer cuivreuse, ou se substituent partiellement au fer dans l'olivine des péridotites.

Le platine et l'or restent à l'état natif, ce dernier métal englobé dans la pyrite de fer, ou les combinaisons séléniées, tellurées, antimoniées, qui peuvent prendre la place des sulfures.

Si l'on veut, d'ailleurs, préciser ces données sur ces magmas basiques, il convient de partir des météorites, qui en semblent le type le plus parfait et, en même temps, le plus profond.

Les météorites, on le sait, renferment, avec des silicates : olivine, enstatite (plus rarement feldspath et pyroxène), du fer natif, du nickel (souvent en pyrrhotine) arrivant à former 17 p. 100 de la masse, du fer chromé, du cuivre, du carbone cristallisé en graphite ou en diamant et un corps, sur la présence duquel nous insistons, parce que son association avec le fer, peu mise en lumière jusqu'ici, est, à notre avis, très caractéristique : le phosphore (\*).

Après les gîtes d'inclusions, qui représentent, en somme, une sorte de résidu, où les métaux proprement dits n'apparaissent en quantités notables qu'à l'état exceptionnel et, un peu, comme des grenailles de fer dans une scorie, le cas ordinaire des gîtes métallifères est celui où une réelle

(\*) M. Vogt a insisté, d'autre part, sur l'association du fer et du titane dans les roches basiques (norites, hypérites, etc.).

séparation s'est produite entre la roche mère et le métal qui en est émané, séparation parfois tellement complète qu'il est alors impossible pratiquement de dire à quelle source se rattache tel gîte métallifère important, mais, ailleurs, au contraire, à peine esquissée, dans les gîtes de départ ou de ségrégation directe, souvent appelés aussi gîtes de contact.

Cette séparation nous semble avoir pu se produire de deux façons distinctes : soit (et c'est le cas le plus rare), par une *ségrégation*, probablement contemporaine de la consolidation, où se sont isolés, dans la masse même d'une roche basique et souvent à sa périphérie, des amas métalliques, que nous rattachons aux gîtes d'inclusions, parce qu'ils font encore, pour ainsi dire, partie intégrante de la roche, mais qui préparent déjà la transition aux filons ; soit, plus fréquemment, par une *circulation hydrothermale* et minéralisée.

B. — Gîtes de ségrégation directe et de départ. — Les gîtes de ségrégation directe, qui correspondent à ce que M. Vogt a appelé les gîtes de *différentiation* (\*), comprennent un certain nombre de concentrations métalliques, particulièrement d'oxydes incomplets ou de métaux natifs, plus exceptionnellement de sulfures, semblant avoir été produites, sans transport à grande distance dû à une intervention spéciale des minéralisateurs, par une sorte de liquation du bain fondu. Ils ne sont que l'exagération et le cas extrême de ces concentrations plus basiques (ferrugineuses ou magnésiennes), qu'on remarque souvent

(\*) Voir une série de remarquables études, publiées, depuis 1893, dans la *Zeitschrift für praktische Geologie*, sur la formation des gîtes métallifères par différenciation dans des magmas basiques, sur les amas pyriteux du type Røraas-Rammelsberg, sur les filons d'apatite, les gîtes de fer chromé et de fer titané, etc.

en certains points des roches basiques, toujours très inhomogènes de leur nature (\*).

Les gîtes de ce genre les plus typiques se trouvent dans des péridotites, ou dans des serpentines, produites par l'altération de ces péridotites, et consistent spécialement en magnétite, fer chromé (\*\*), fer titané (\*\*\*), platine, pyrite de fer, pyrrhotine nickelifère et chalcopyrite (\*\*\*\*).

(\*) Le type de ségrégation choisi par M. Vogt est le passage au kersanton, dans ses salbandes, d'un porphyre syénitique de Christiania. Or, dans ce kersanton, la proportion de pyrite est quadruplée, celle d'apatite triplée : ce qui semblerait indiquer un accroissement du soufre et du fluor, c'est-à-dire des minéralisateurs, dont les géologues étrangers sont trop portés à diminuer, ou même à supprimer l'intervention.

(\*\*) Nous avons été frappé autrefois de ce que les grandes masses de magnétite et de fer chromé se trouvent surtout dans les serpentines, c'est-à-dire dans le produit d'altération des péridotites, alors que le péridot et le picotite des mêmes roches donnent aisément, en s'altérant, des cristaux microscopiques de ces mêmes minéraux, et nous avons été tenté d'en conclure que la formation même des gisements était le résultat d'une remise en mouvement secondaire, produite par cette altération ; mais, comme l'a fait remarquer M. Vogt, la présence d'amas analogues de fer chromé dans des péridotites fraîches est contraire à cette hypothèse. La ségrégation de ces masses métalliques semblerait donc indépendante de la serpentinitisation. Il resterait, d'ailleurs, à examiner si cette serpentinitisation même n'est pas souvent contemporaine de la cristallisation (comme paraîtrait le prouver sa persistance à de très grandes profondeurs) et si elle n'a pas été produite par un excès de vapeur d'eau, dont la présence, dans le magma fondu, aurait pu, en même temps, faciliter la concentration métallique. Dans le cas des chalcopyrites incluses dans ces serpentines, comme au Monte Catini, l'altération superficielle a eu surtout pour effet de transformer la chalcopyrite en phillipsite, chalcosine et cuivre gris.

(\*\*\*) M. Vogt a particulièrement étudié les nodules de fer titané, avec spinelle chromifère, qui s'isolent, au milieu de norites à ilménite, dans la région d'Ekersund. Il en a rapproché les magnétites titanifères avec vanadium dans l'hypérite à olivine de Taberg, le fer titané dans le gabbro du Mesabi Range (Minnesota) et les pyroxénites à ilménite, titanate de chaux, tantaloniobate et apatite dans la néphéline à pyroxène de Jacutinga au Brésil. Ces gisements présentent ce caractère commun d'être au centre des massifs basiques (non à leur périphérie, comme ceux de pyrrhotine nickelifère) et de renfermer toujours le titane allié au fer (comme peut l'être le silicium), plus rarement au magnésium, jamais libre ; l'alumine, quand elle existe, est isolée en spinelle.

(\*\*\*\*) L'association du nickel et du cuivre avec les pyrrhotines est très fréquente, notamment au Canada. D'autre part, il n'est guère de

Ainsi que nous venons de le supposer dans notre définition, l'influence des minéralisateurs ne nous paraît pas, dans les cas les plus nets, — par exemple, quand il s'agit de fer titané ou de magnétite titanifère dans les norites ou hypérites de Norvège, de fer chromé dans les serpentines d'Asie-Mineure, de l'Oural, du Banat, etc., — avoir été beaucoup plus active pour la concentration de ces métaux que pour la cristallisation des autres éléments de la roche : cristallisation dans laquelle nous croyons, d'ailleurs, contrairement à l'école de M. Rosenbusch, qu'elle est, presque constamment, intervenue.

Mais ce rôle des minéralisateurs nous semble avoir été de plus en plus marqué dans toute cette grande série de gîtes sulfurés, qui, pour le cuivre notamment, commencent avec de véritables inclusions, pour arriver, par de nombreux cas intermédiaires, à des filons de chalcopryrite absolument indépendants de la roche mère, et il y a là tout un groupe de *gîtes de départ ou de contact* (\*), que l'on peut, sans doute, pour la simplicité des classifications, rattacher aux gîtes de ségrégation, dont ils dérivent, mais seulement à la condition expresse de remarquer que le rôle des minéralisateurs s'y accentue progressivement et qu'ils amènent, par des transitions insensibles, à de véritables gîtes filoniens.

Nous serions assez disposé à restreindre, beaucoup plus qu'on ne l'a fait, dans ces derniers temps, en Amérique et en Norvège, cette catégorie de gîtes de

---

cuiivre qui ne contienne des traces d'or, comme le plomb renferme de l'argent. En Colombie britannique, près de Rosslund, dans le district de Trail Creek, on vient de commencer à exploiter pour or une association de pyrrhotine, avec chalcopryrite aurifère, en grandes masses.

(\*) Il importe de ne pas confondre, avec ces gîtes de contact par départ immédiat, les filons proprement dits, qui peuvent se trouver accidentellement au contact d'une roche éruptive, simplement parce que ce plan de contact offrait aux phénomènes dynamiques, qui ont ouvert les fractures filoniennes, un plan de cassure facile.

ségrégation et à établir une coupure entre les *gîtes de ségrégation* proprement dits, formés d'oxydes de fer, chrome, ou titane, qui sont toujours restés dans le cœur des massifs basiques, et les *gîtes de départ* sulfurés (pyrrhotines nickelifères, chalcopryrites), qui se sont, au contraire, portés, en raison d'une mobilité plus grande, vers la périphérie de massifs analogues.

Dans la théorie de M. Vogt, qui a admis, en les étendant aux gîtes métallifères, les idées de MM. Iddings et Rosenbusch sur la différenciation (*spaltung*) des magmas, ou se refuse, au contraire, à faire intervenir, dans la formation de tous ces gisements, les minéralisateurs et la vapeur d'eau, réduisant tout le phénomène de la ségrégation des oxydes ou sulfures métalliques (comme celui, plus général, de la différenciation des roches) à une simple liquation opérée en vase clos.

Nous ne comprenons pas, pour notre part, pourquoi l'on prétend exclure de ces réactions les éléments gazeux et aqueux sous pression, dont le rôle est tellement essentiel et caractéristique dans toutes les manifestations volcaniques et dont l'intervention a dû être tellement propre à prêter aux molécules confondues dans un bain igné une mobilité, que l'on a quelque peine à expliquer autrement par des différences de température et de pression, par des actions d'endosmose, etc... Nous serions beaucoup plutôt porté inversement à diminuer le rôle des phénomènes purement ignés, pour expliquer la cristallisation de bien des minéraux par la présence de dissolvants sous pression, tels que l'acide carbonique liquide, les chlorures, fluorures ou sulfures alcalins : la présence de ceux-ci étant suffisamment prouvée, en tant de cas, par les inclusions liquides ou gazeuses des cristaux.

Cette divergence de vues avec d'éminents géologues étrangers vient surtout, ce nous semble, de ce que l'école à laquelle se rattache M. Vogt n'admet, comme ayant

joué le rôle de minéralisateurs, comme ayant produit des gîtes par *pneumatolyse*, que les éléments du groupe fluor, bore, etc., tandis que nous attribuons une action analogue à tous les corps dont les fumerolles volcaniques nous offrent encore aujourd'hui le spécimen.

La plupart des gisements de ségrégation proprement dits offrent ce caractère commun d'être en nodules, en boules, en lentilles, en amas limités dans tous les sens et grossièrement ellipsoïdaux, suivant l'allure connue des gîtes de fer chromé ou de magnétite au cœur des péridotites; mais, à mesure que l'intervention des minéralisateurs se marque mieux et, en prêtant aux métaux plus de mobilité, permet leur concentration plus complète en des points plus propices, notamment sur la face externe du noyau éruptif, sous le couvercle impénétrable des roches encaissantes, nous avons des gisements, qui tendent davantage vers le type filonien, qui s'infiltrent en veinules, se ramifient en stockwerks, parfois se localisent en filons de contact. Ces derniers types sont particulièrement bien marqués pour les rares gisements de départ direct et immédiat, qu'on peut rattacher aux roches acides, c'est-à-dire à des roches qui, évidemment, contenaient un excès de minéralisateurs (notamment du fluor ou du chlore); et, quand l'étain ou l'or se présentent ainsi localisés dans la roche mère (granulite, trachyte, rhyolite, etc.), c'est à l'état de filonnets ramifiés, divergents, de fissures de retrait coincées en profondeur dans la roche.

Mais des types analogues peuvent exister aussi pour les sulfures émanés des roches basiques, qui, suivant la nature des métaux ou des minéralisateurs en jeu, suivant la prédominance locale des réactions ignées ou aqueuses, remplissent des gisements très divers, dont l'allure amène progressivement, par les amas de contact bien connus, pour les pyrrhotines nickelifères, autour des gabbros norvé-

giens (\*), à de véritables filons concrétionnés du genre des filons plombifères.

C. — *Gîtes filoniens.* — Quand on cherche à reconnaître quelle a été, pour les divers métaux, l'action variable des minéralisateurs, on doit constater, d'abord, qu'elle a surtout produit un départ et une concentration filonienne, pour ceux des éléments qu'une affinité particulière n'attirait pas vers la silice, et qui, par suite, n'ont pas été assimilés par elle et englobés à l'état de silicates dans la pâte même des roches : c'est-à-dire que, dans les filons métallifères, on ne trouvera, pour ainsi dire jamais, les premiers métaux vraiment caractéristiques des roches, potassium, sodium, magnésium et aluminium et que les suivants, le calcium, le baryum, le strontium y seront assez rares et y apparaîtront peut-être simplement comme un emprunt fait à la superficie. Quant à la silice elle-même, très abondante dans les filons métallifères, elle s'y distingue immédiatement de la silice des roches en ce que, même lorsqu'elle se trouve en présence de corps comme le calcium, le baryum, le fer, etc., avec lesquels elle est toujours combinée dans les roches, dans les filons, elle est restée

(\*) D'après M. Vogt, les gabbros norvégiens comprennent trois types distincts : hypérites à olivine, avec ségrégations oxydées d'ilménite, rutile, apatite; norites, avec pyrrhotines nickelifères; gabbros à saussurite avec apatite. La localisation des pyrrhotines à la périphérie des gabbros est remarquablement nette à Ertelien, Romsaas, Meinkjær, Lutte, Bamle, etc... Les sulfures sont, d'ailleurs, un élément constituant de ces roches, qui présentent (à Meinkjær) des types de transition formés d'un gabbro très riche en pyrrhotine. Cette pyrrhotine englobe tous les autres minéraux, comme un magma de seconde consolidation plus fusible et pénètre même dans leurs cassures. Dans d'autres pays, des pyrrhotines sont en relation avec d'autres roches basiques, diorites, diabases, diabases à olivine. D'après nos observations, les pyrites cuivreuses de Rio-Tinto, comme les pyrites aurifères du Witwatersrand, auraient, de même, bien des chances pour être en relation avec des roches de la série diabasique.

à l'état libre (\*) : ce qui doit tenir à ce que, là, elle a été en présence d'acides plus énergiques (fluorhydrique, sulfurique, ou carbonique), qui ne lui ont pas permis de s'associer avec les bases, ou même l'ont expulsée des combinaisons qu'elle avait commencées à former. Il est bien possible qu'une grande partie de la silice des filons se trouve ainsi à cet état spécial, qu'on a appelé l'état naissant, s'étant déposée au moment même où un acide plus puissant la mettait en liberté.

Par assimilation avec les fumerolles volcaniques, nous admettons que les dégagements gazeux successifs des roches ont, en s'appauvrissant de plus en plus avec la diminution de la chaleur et de l'énergie chimique, été marqués, d'abord par la prédominance des chlorofluorures, puis des sulfures, enfin de l'acide carbonique : chaque terme présentant, en outre des siens propres, les produits des émanations suivantes (sulfures et carbonates avec les fluorures), mais la réciproque n'étant pas vraie.

L'action fluorée semble surtout marquée pour les métaux suivants : étain, titane (\*\*), silicium, tungstène, or, et, peut-être, manganèse et fer : les trois derniers s'étant également formés dans d'autres circonstances et même dans des magmas basiques ; elle a eu pour résultat, par double réaction avec l'eau, la précipitation d'oxydes, sauf dans le cas de l'or, déposé à l'état natif en vertu de sa réduction très facile, et ces oxydes (par un phénomène absolument exceptionnel dans les gîtes métallifères, toujours déposés à l'état réduit) persistent jusqu'aux pro-

(\*) Comme exception, on doit cependant citer le manganèse, qui se présente souvent dans les filons de métaux précieux à l'état de silicate et, peut-être, l'or qui peut former un aurosilicate. Les silicates ferrugineux, tels que grenat, épidote, etc., ne sont que des produits secondaires.

(\*\*) Il s'agit ici du titane oxydé (rutil et anatase) ; car le fer titané paraît, au contraire, s'être produit sans intervention fluorée, par ségrégation de norites, d'hyperites, gabbros, etc.

fondeurs les plus grandes des exploitations sans passer aux sulfures (\*).

Ces métaux se rapprochent, par là, de ceux qui constituent les roches, métaux également oxydés à toutes profondeurs, tandis qu'ils se différencient des métaux filoniens ordinaires, unis, pour la plupart, au soufre ou à ses homologues. En outre, le caractère des gisements eux-mêmes présente quelque chose de corrélatif : ces métaux, qui, manifestement, n'ont pu se dégager de la roche qu'à très haute température et par l'intervention de dissolvants très énergiques, ne s'en sont jamais beaucoup écartés ; ils partent des gîtes d'inclusions proprement dits pour présenter les types : fissures de retraits, stockwerks (c'est-à-dire réseaux de veines irrégulières et ramifiées), gîtes de contact et n'arrivent qu'exceptionnellement à remplir des filons proprement dits, toujours au voisinage des roches acides et en présence d'un excès de silice : c'est-à-dire que, lorsqu'ils ont cristallisé en filons, ils l'ont fait probablement dans des conditions analogues à celles qui ont dû marquer la cristallisation des granulites, sous pression, en présence de dissolvants très actifs et à température relativement haute.

L'action sulfurée, action minéralisatrice par excellence, a produit la plus grande partie des gîtes métallifères, fer, cuivre, nickel, cobalt, bismuth, antimoine, plomb, zinc, argent, mercure.

C'est la plus connue et celle sur laquelle il est, par suite, le moins nécessaire de s'étendre.

Enfin, quand les fumerolles d'acide carbonique se sont produites, il n'est pas certain que les roches aient été encore assez chaudes pour livrer en grande quantité leurs métaux, sauf peut-être ceux qui se trouvent également dans

(\*) On a cependant trouvé un peu de sulfure d'étain dans les gîtes d'étain boliviens.

les roches consolidées de la surface et les terrains sédimentaires, fer, manganèse, calcium, magnésium (\*), baryum et strontium; les fumerolles, à ce moment, paraissent surtout avoir eu pour effet d'amener des carbures divers vers la surface. Mais, dans cette phase, une réaction, qui a dû également jouer un rôle dans les phases précédentes, semble avoir pris une importance prépondérante : c'est l'action des eaux thermales filoniennes, chargées d'un acide, qui était, dans ce cas, l'acide carbonique, sur les roches et terrains traversés par leur circuit.

Dans les fumerolles chaudes, fluorées et même sulfurées, nous ne pensons pas que cette action ait eu grande importance, précisément parce que le trajet du point d'émanation au point de dépôt a dû être très court, comme le montre l'étude des gisements et, comme l'indique, *a priori*, la nécessité que la température et l'abondance des dissolvants volatils aient pu se conserver dans la dissolution filonienne. Au contraire, les eaux, chargées d'acide carbonique, ont pu séjourner et circuler longuement dans les terrains, ainsi qu'elles le font encore dans tant de bassins de sources thermales; et un déplacement purement superficiel, une remise en mouvement, comparable à celle que M. von Groddeck en Allemagne ou M. Dieulafait en France ont voulu étendre à tous les gîtes métallifères, a pu, dans ce cas particulier, produire des dépôts restreints et assez superficiels de chaux, de baryte, de strontiane, de fer ou de manganèse, à l'état de carbonates ou d'oxydes : c'est un point sur lequel nous aurons à revenir.

---

(\*) La présence de sidérose, calcite et dolomie à de grandes profondeurs dans les filons (Przibram, Freiberg), peut, à la rigueur, s'expliquer ainsi.

## DEUXIÈME PARTIE.

### Rôle des phénomènes d'altération superficielle et de remise en mouvement dans la formation des gîtes métallifères.

Les phénomènes dont il va être question ici ont, comme nous l'annoncions dès le début, une importance souvent très considérable et, dans bien des gisements d'une grande valeur industrielle, ce sont eux qui ont donné son allure actuelle à toute la partie utilisée. Il est d'autant plus essentiel d'en bien définir le caractère que, très souvent, prenant la partie pour le tout, et le corollaire pour le théorème, on a attribué, à tout l'ensemble d'un gîte profond, les conclusions d'âge, de nature et de mode de formation applicables seulement à ces remaniements superficiels (\*). Même au point de vue des prévisions pratiques sur l'avenir d'un gîte, une semblable faute de raisonnement a pu conduire à de graves erreurs.

Nous examinerons bientôt un certain nombre de métaux successivement, de manière à préciser les idées; mais, auparavant, il nous paraît nécessaire d'envisager d'abord, d'une façon plus générale, les phénomènes sur lesquels nous voulons appeler l'attention, en les considérant dans leur principe, leurs agents, leur mode d'action et leurs effets.

Compris dans leur sens le plus strict, les phénomènes d'altération superficielle et de remise en mouvement sont ceux qui se produisent *actuellement* dans la zone de libre circulation des eaux, séparée de la zone des eaux per-

---

(\*) Cela a conduit à considérer, comme d'âge presque contemporain, tels gîtes de fer, de plomb ou de zinc, en réalité beaucoup plus anciens.

manentes, par ce qu'on appelle le *niveau hydrostatique*, sous l'action de l'oxygène, de l'acide carbonique et des divers agents chimiques apportés par ces eaux au contact des minerais.

Ce sont donc des phénomènes en rapport avec une période d'émersion et de dénudation continentale, et l'on peut, tout au moins en théorie, envisager la possibilité que des réactions semblables aient eu lieu pendant d'autres périodes d'émersion, antérieures aux derniers mouvements qui ont donné au sol son allure actuelle et que, par une circonstance assez exceptionnelle (notamment par un mouvement du sol), le niveau hydrostatique s'étant relevé localement et non abaissé, comme c'est sa tendance normale (\*), ces produits d'altération, au lieu d'être emportés et détruits ensuite, se soient trouvés préservés, conservés jusqu'à nous, dans une zone relativement profonde, désormais invariable. Les gites de cuivre du Lac Supérieur présentent, peut-être, un cas de ce genre.

Il y a également lieu de se demander, bien souvent, dans les filons, si des enrichissements locaux, qu'on a l'habitude de rencontrer aux points d'intersection de croiseurs, même postérieurs au remplissage et divers phénomènes du même genre ne tiennent pas à une remise en mouvement, à une concentration de minerais, une première fois déposés : remise en mouvement produite, dans la circulation d'eaux chaudes, qui pouvaient ne pas même être minéralisées, à la suite d'une réouverture. Nous croyons que bien des particularités des gisements peuvent s'interpréter ainsi,

(\*) L'érosion des parties saillantes a pour effet ordinaire d'abaisser le niveau hydrostatique. Un relèvement local de ce niveau hydrostatique, qui n'a guère pu se produire que dans un phénomène dynamique, comme un plissement ou un surélévation restreint du sol, a dû avoir pour effet de noyer, dans un bain d'eau immobile et désormais incapable de produire sur le gîte aucune modification, une partie des minerais antérieurement soumise à la circulation des eaux oxydantes et altérée par elles.

surtout si l'on fait intervenir l'acide carbonique, qui a pu être très abondant dans les dernières venues hydrothermales d'un champ filonien et qui a dû influencer, par suite, sur le dépôt des carbonates.

La remise en mouvement des éléments métallifères a toujours eu lieu par l'intervention de l'eau, et son principe est une dissolution, qui peut se produire par simple contact et sans altération chimique pour des minéraux solubles, comme les chlorures, nitrates et borates alcalins, mais qui, plus généralement, est précédée par une modification du minerai filonien, sous l'action des réactifs apportés par l'eau superficielle.

De ces réactifs, le premier et le plus important est l'oxygène, qui fera passer les sulfures insolubles à l'état de sulfates solubles. Dans son ensemble, l'altération superficielle est caractérisée par une oxydation, d'autant mieux marquée que les gites métallifères profonds semblent, en principe, avoir été déposés dans un milieu réducteur : en sorte que la partie altérée forme un contraste frappant avec la partie profonde.

Après l'oxygène, vient l'acide carbonique, — emprunté, soit à l'air, soit aux calcaires, mis en contact avec un acide plus énergique, tel que l'acide sulfurique, — qui transforme les carbonates, pour la plupart insolubles, en bicarbonates solubles. Parmi les métaux, pour lesquels son influence a été le mieux marquée, on peut citer le calcium (carbonate et phosphate de chaux), le baryum, le strontium, le magnésium, le fer, le manganèse, le nickel, le cuivre, le zinc et le plomb.

Puis on constate également l'intervention dissolvante des nitrates, chlorures, fluorures, etc.

Les nitrates, par exemple, ont, dans les couches superficielles, un rôle bien connu, et les travaux, qu'a motivés leur influence en agriculture, ont montré que leur azote devait être emprunté à l'air par l'intervention de certains

microbes, pour passer ensuite dans le cycle continu de la vie.

La présence presque constante du chlore et du fluor dans les terrains est prouvée également, non seulement par des analyses directes, mais encore par divers phénomènes, tels que la fossilisation des os, toujours accompagnée, d'après les beaux travaux de M. Carnot, par une fluatation, rapprochant peu à peu le phosphate des os de celui des apatites (\*). M. Munier-Chalmas a, d'ailleurs, étudié, dans les terrains sédimentaires du bassin parisien, de la fluorine de formation récente.

D'une façon générale, on peut dire que les eaux superficielles contiennent, presque constamment, les éléments nécessaires à la dissolution des substances les plus insolubles en apparence (l'or, par exemple, qui a subi des recristallisations dans les parties hautes des filons).

Une fois les métaux entrés ainsi en dissolution et doués, par suite, d'une mobilité qu'ils n'avaient pas à l'état solide, ils subissent un transport plus ou moins long, sont l'objet d'une concentration plus ou moins marquée (notamment, dans certains cas, sous l'influence de ces agents puissants, bien qu'assez mal définis dans leur principe, qui sont les

(\*) M. Carnot a montré (Mémoire sur les phosphates, *Annales des Mines*, 1896, p. 43) que 1 mètre cube d'eau de l'Océan Atlantique renferme 0<sup>m</sup>,822 de fluor, ou 1<sup>m</sup>,687 de fluorure de calcium. Il a également appelé l'attention sur ce fait remarquable que, tandis que les apatites sont, à la fois, chlorurées et fluorées, les phosphates sédimentaires (comme les os fossiles), bien que formés en présence des chlorures de la mer, sont toujours exclusivement fluorés.

On constate directement la présence du chlorure de sodium à l'état d'inclusions dans certains minéraux (quartz, etc.).

La concentration du phosphore et de l'arsenic disséminés semble se produire dans des conditions assez analogues à celles que l'on a étudiées pour le fluor, et c'est ainsi que, dans les parties hautes de certains gîtes de galène, on est surpris de voir apparaître des chlorophosphates ou chloroarséniates, la pyromorphite et la mimétèse, quand la présence du phosphore et de l'arsenic dans le filon est, tout au moins, masquée en profondeur.

organismes vivants, ou les matières à cellules organisées)(\*), se séparent ainsi les uns des autres par une véritable métallurgie naturelle et finissent par se reprécipiter isolément, sous des forces diverses, contact d'une paroi, évaporation, diminution de température ou de pression, dégagement de l'excès d'acide carbonique, etc., tantôt à l'état peroxydé, tantôt, au contraire, à l'état réduit, quand des matières organiques ou des hydrocarbures sont intervenus.

A moins de circonstances exceptionnelles et, par exemple, de réactions successives se détruisant l'une l'autre, l'effet de ces déplacements a été généralement de tendre à séparer les métaux, d'abord confondus, en produisant, pour chacun d'eux, le composé le plus insoluble et, en même temps, suivant une remarque de M. Dieulauf (\*\*), la combinaison la plus stable, c'est-à-dire, d'après les lois de la thermochimie, celle qui, en naissant, développe le plus de calories : par exemple  $\text{Fe}^2\text{O}^3$  pour le fer,  $\text{MnO}^2$  pour le manganèse,  $\text{ZnOCO}^2$  pour le zinc, etc... Mais cela suppose implicitement que l'oxygène et l'acide carbonique aient pu agir en excès et, d'autre part, qu'il ne soit pas intervenu d'action réductrice étrangère, ou d'influence calorifique, telle que celle développée dans le dynamo-métamorphisme. En cas contraire, les sels résultant de l'altération ont pu être tout différents, et les gisements peuvent présenter les métaux sous des formes, en quelque sorte intermédiaires et provisoires, telles que les protocarbonates de fer, de manganèse, etc.

La solubilité des sels produits a pu également intervenir (et cela d'une façon diverse suivant chaque métal),

(\*) Nous laisserons ici de côté l'influence de la vie, qui a participé puissamment aux concentrations produites par certaines remises en mouvement, surtout dans les dépôts sédimentaires (chaux, silice, oxyde de fer, sulfure, etc.), mais quelquefois aussi dans les terrains superficiels eux-mêmes (rôle des microorganismes dans la nitrification ou la phosphatisation, etc.).

(\*\*) C. R., 1883, t. Cl, pp. 609, 644, 676 et 842.

pour les emporter à distance (quelquefois dans la profondeur même du gisement), avant que les réactions complètes n'aient été achevées sur eux dans le gisement même, et c'est ainsi qu'un appauvrissement en fer, et surtout en cuivre, est parfois très marqué dans les parties hautes des gites sulfurés.

Pour un métal déterminé, il s'est produit ainsi des modifications dans la nature des minerais, telles que le passage de la chalcoppyrite au cuivre gris ou à la chalcosine, de la galène argentifère au sulfure d'argent; certaines cristallisations géodiques dans l'axe des filons anciens, qu'on attribuait jadis à une dernière phase de la venue hydrothermale profonde, peuvent également résulter d'une modification postérieure de ce genre.

Un fait absolument essentiel dans l'ordre d'études que nous abordons, c'est le rôle chimique des terrains encaissants sur ces réactions superficielles produites dans les filons en milieu oxydant. L'allure et l'intensité des phénomènes ont été, comme nous le verrons, toutes différentes, suivant que le terrain encaissant fournissait, ou non, un agent chimique capable de les activer, et leur paroxysme a toujours été atteint dans les calcaires, où leur extension même a très souvent fait qu'on ne les a pas compris et qu'on les a rapportés à de tout autres causes.

En résumé, les principales formes de dépôt réalisées par ces altérations ont été les suivantes, en laissant de côté les sels solubles, chlorures, nitrates, sulfates et borates alcalins, qui sont allés se concentrer dans certains bassins d'évaporation fermés :

Quelquefois, il s'est produit des veinules, des enduits, des précipitations de formes diverses, comme pour le carbonate de chaux et, à un degré moindre, pour la magnésie, la baryte et la strontiane, avec tendance, pour chaque métal, à atteindre la forme carbonatée si le soufre fait défaut, sulfatée si ce métalloïde se présente.

Quand il s'agit de phosphate de chaux, de barytine, de sesquioxyde de fer, de bioxyde de manganèse, de silicate de nickel, d'oxyde noir de cobalt, de carbonate ou d'oxyde de cuivre, on a un autre type de gisements extrêmement important, sur lequel nous allons revenir bientôt : celui des poches superficielles, résultant de la dissolution de la roche encaissante (généralement un calcaire, parfois une roche magnésienne, comme une péridotite ou une serpentine) par l'eau chargée d'acide carbonique et remplies par l'argile rouge, résidu de sa dissolution, avec veinules, rognons, nodules, ou lits des divers éléments métallifères concentrés.

Enfin, pour le fer, le zinc et le plomb, on a le type des grands amas carbonatés (type calaminaire), passant : pour le fer, au peroxyde ; pour le plomb, au sulfate, avec remplissage local de grottes, produites pendant l'altération même et donnant lieu à quelques-unes des exploitations les plus considérables, parmi celles qui alimentent l'industrie de ces métaux.

Nous allons insister un peu sur ces deux types des poches superficielles et des amas.

En ce qui concerne les poches superficielles, il suffit d'avoir observé une tranchée dans la craie du bassin parisien, pour avoir constaté l'allure de ces poches de décalcification, produites par l'infiltration des eaux météoriques. Les grottes et les abîmes des plateaux calcaires nous fournissent d'autres exemples, encore plus développés, de cavités produites par un phénomène analogue, et leur étude, entreprise avec tant d'énergie et de persévérance par notre ami M. Martel, est, pour l'interprétation de nombreux gisements de ce genre, ou, comme nous le verrons en détail, des formations du type calaminaire, du plus haut intérêt ; dans ces deux cas, il se dépose, comme résidu de la dissolution, au fond des excavations, une argile rouge ferrugineuse. Quant aux sels métalliques, tantôt ils se sont

déposés, par couches concrétionnées, sur les faces d'un vide préexistant, comme les stalagmites dans une grotte, ou comme les minerais dans un filon; tantôt, au contraire, ils ont pénétré dans la masse même du calcaire, en profitant de toutes ses fissures, par un phénomène de substitution, que nous allons bientôt voir poussé à l'extrême dans la constitution des gites calaminaires.

C'est au milieu de ces argiles, dans des poches semblables, qu'on exploite les phosphates et les manganèses du Nassau, les phosphorites du Quercy, les fers en grains sidérolithiques du Berry, de Meurthe-et-Moselle, etc., les malachites et cuprites de Mednoroudiansk, dans l'Oural, etc., et l'altération de roches magnésiennes a, par un phénomène analogue, produit les gites de garniërite, asbolite et fer chromé de la Nouvelle-Calédonie.

Dans tous ces cas, le mode de concentration des substances utiles est très net; mais leur origine première peut être plus discutable.

Si nous commençons, par exemple, par le cas le plus typique, il est à peu près évident que, dans le cas du nickel de la Nouvelle-Calédonie ou du cuivre de l'Oural, on a affaire à la remise en mouvement d'éléments métallifères, empruntés à la roche encaissante, dans laquelle ils pouvaient former, ici un gîte d'inclusions, là un gîte filonien.

On est un peu plus embarrassé quand il s'agit d'autres substances, telles que le phosphore, le fer, la baryte et le manganèse, et l'on a quelquefois soutenu, alors, que les poches en question avaient été directement produites par une venue hydrothermale, dont elles auraient représenté l'émergence, le griffon. Dans la plupart des cas, sinon dans tous, nous ne voyons là, au contraire, que le produit d'une semblable remise en mouvement de corps empruntés aux roches ou aux terrains.

C'est, en effet, un fait des plus clairs que la facilité avec laquelle des traces de ces divers éléments, éparses dans

un terrain, peuvent se concentrer localement. Chacun de ces métaux est aisément soluble dans les eaux superficielles et, pour ne citer que les deux pour lesquels le fait est le moins connu, on a des exemples nombreux de barytine pseudomorphosant des fossiles, et l'on connaît, à Belmès, du phosphate de chaux, substitué molécule par molécule à du calcaire carbonifère, où apparaissent encore les traces des encrines. Facilitée, en outre, dans certains cas, par les matières organiques, qui attirent nombre d'éléments chimiques en dissolution: phosphate de chaux, silice, pyrite de fer, etc., et les accumulent sur les organismes disséminés dans un terrain (\*), la concentration de métaux, d'abord très dilués, a pu arriver souvent à former de véritables gisements. Mais elle a été, nécessairement, d'autant plus marquée que le corps en question était déjà plus fréquent dans le terrain sous-jacent, et elle a atteint son maximum, quand il en existait déjà un véritable gisement, filonien ou sédimentaire, en profondeur.

Ainsi, pour le phosphate, on n'utilise, bien souvent, que la concentration superficielle, plus ou moins récente, d'un gîte pauvre ancien (\*\*): par exemple, les affleurements

(\*) M. Carnot, dans son beau mémoire sur les phosphates (*Annales des Mines*, août 1896, p. 40) a remarqué que les fossiles s'étaient souvent phosphatisés en raison inverse de la largeur des pores, par une substitution où semblent être intervenues des actions d'endosmose.

(\*\*) Je laisse ici de côté les décompositions de matières organiques accumulées, qui paraissent avoir produit directement certains gîtes phosphatés en Floride, en Caroline; c'est pourtant là encore un exemple de remise en mouvement par les eaux.

Beaucoup des grandes accumulations phosphatées se sont produites, après une période d'émersion, sous forme de dépôts, soit continentaux, soit littoraux à la façon de l'oxyde de fer, et la concentration du phosphate peut tenir, dans ce cas, tantôt à des accumulations organiques, comme celles auxquelles on attribue, pour une époque récente, les phosphates de la grotte de la Minerve, ceux de la Floride, de la Caroline, etc.; tantôt à la redissolution d'éléments phosphatés, d'abord disséminés dans les terrains émergés et soumis ainsi, pendant de longues

décomposés de tant de couches phosphatifères, dans l'Auxois (\*), etc. ; les poches de sables phosphatés de la Somme (\*\*); les poches à phosphates du Nassau (\*\*\*), et il est très probable que les élargissements phosphatés que l'on a exploités à Cacérés dans les calcaires (\*\*\*\*), ou les remplissages de phosphorite du Quercy (\*\*\*\*\*), ne sont, de même, que la concentration superficielle d'un gîte antérieur, dont la forme primitive, filon hydrothermal ou simple diffusion à l'état organique dans les terrains, peut être discutable pour chaque cas.

Le cas est le même pour les poches de fer en grains, situées dans des régions comme Meurthe-et-Moselle (\*\*\*\*\*) ou l'Anjou (\*\*\*\*\*), qui renferment d'importants dépôts de fer en profondeur, pour les gisements d'oxyde de fer exploités aux affleurements de certaines couches à sul-

---

périodes, aux actions météoriques. Sans insister ici sur ce point, nous citerons seulement, comme exemple de phosphates déposés en basses eaux, lors d'une régression marine, le wealdien anglais, avec ses couches d'eau douce, au-dessus desquelles les premières formations sableuses ou argileuses littorales renferment : les phosphates de Sandy, dans le Bedfordshire ; plus haut, ceux de Folkestone (équivalent de Boulogne) ; puis, dans le gault, ceux d'Ely (Cambridge). Le niveau des sables verts est riche en phosphates dans les Ardennes, l'Argonne, la Drôme, l'Ardèche. A Pernes et Fauquemberghes, dans le Nord, le tourtia, sorte de conglomérat superposé au terrain primaire et formant la base du crétacé, est souvent riche en phosphate. La craie phosphatée sénonienne paraît également s'être déposée dans des eaux très peu profondes et les phosphates de Tunisie et d'Algérie ont dû se former sur des côtes basses ou dans des lagunes. Le phosphore est un des éléments les plus abondants dans toutes les roches et dont la concentration purement superficielle est, par suite, la plus admissible.

(\*) *Gîtes métall.*, I, p. 367.

(\*\*) *Ibid.*, p. 391.

(\*\*\*) *Ibid.*, p. 361.

(\*\*\*\*) *Ibid.*, p. 347. Il paraît que, dans l'Estramadure, il s'agit bien réellement de filons d'apatite et de quartz, comparables à ceux d'Oddegarden en Norvège, et dont la phosphorite a bien la teneur en fluor des apatites.

(\*\*\*\*\*) *Ibid.*, p. 348. Ces phosphorites ont été, en toute hypothèse, déposées par des dissolutions de phosphate, chargées d'acide carbonique.

(\*\*\*\*\*) *Ibid.*, p. 805.

(\*\*\*\*\*\*) *Ibid.*, p. 733.

fares complexes comme en Silésie (\*), pour ces grands chapeaux d'oxyde de fer, qui recouvrent en débordant au-dessus les amas pyriteux, etc.

Quand ce fer, en profondeur, renferme du manganèse, la proportion de manganèse peut, par la différence de solubilité des deux sels, s'accroître, dans cette altération, jusqu'à en constituer un véritable gisement. Ces gisements de bioxyde de manganèse, purement superficiels, sont des plus fréquents. Et, dans les mêmes conditions, il se concentre également de la baryte (\*\*).

Chacun connaît, d'ailleurs, ces petits grains noirs manganésifères, qu'on voit au milieu des limons superficiels, ces veines ferrugineuses, qui se produisent constamment dans les fissures des roches, etc...

Quant au type des amas calaminaires, il est bien connu pour le zinc, quoiqu'on l'ait généralement interprété autrement que nous ne le faisons ; il l'est moins pour le fer, pour le manganèse (\*\*\*) et surtout pour le plomb. Cela tient à ce que, pour le zinc, le carbonate est la forme stable, qui a toujours une tendance à se produire et à subsister ; le zinc ne peut se transformer en peroxyde, comme le font en général le fer et le manganèse, quand ils ont commencé par prendre provisoirement la forme carbonatée ; quant au plomb, très insoluble à l'état de sulfate ou de carbonate, il passe, bien plus rarement que les métaux précédents, à un état oxydé et reste, au contraire, même dans les gîtes altérés, en sulfure.

Il n'en est pas moins vrai que, pour le fer, le manga-

---

(\*) *Gîtes métal.*, t. I, p. 769.

(\*\*) M. DIEULAFAIT (*C. R.*, t. CI, p. 324, 1885) a étudié, dans le calcaire de Biot, Roquefort et Villeneuve (Alpes-Maritimes), des dépôts de sables tertiaires, à la base desquels se sont concentrés du manganèse et de la baryte, qui, d'après ses analyses, avaient commencé par être disséminés sur toute la hauteur du terrain et y avaient été, suivant lui, apportés par la simple destruction des roches cristallines.

(\*\*\*) Nous reparlerons des amas de las Cabesses, dans l'Ariège.

nèse et le plomb, la forme de grands amas carbonatés existe, absolument comme pour le zinc, et nous la considérons également comme résultant de l'altération superficielle de gites sulfurés (ou silicatés) (\*), encaissés dans des calcaires, et de la substitution du carbonate métallique au carbonate de chaux, substitution qui paraît, pour le zinc, avoir été facilitée quand ce calcaire était magnésien.

Il y a là un point sur lequel nous devons insister : car nous ne nous dissimulons pas que nous heurtons ici les idées généralement admises.

Pour nous, les grands amas carbonatés ne sont pas le produit d'un dépôt direct et originel à l'état de carbonate, mais le résultat d'une remise en mouvement d'éléments, d'abord arrivés de la profondeur, sous une forme généralement sulfurée, exceptionnellement peut-être chlorurée. Cette transformation carbonatée est, par suite, — au moins si on la considère en grand — localisée dans les terrains calcaires et restreinte au-dessus du niveau hydrostatique de la région.

Sans vouloir nier la possibilité et même la probabilité que du carbonate de fer ou de manganèse ait pu être directement apporté par des eaux filoniennes (ce qui nous paraît, au contraire, presque certainement inexact pour les carbonates de plomb, et même de zinc), et en laissant de côté, bien entendu, les dépôts de carbonate de fer lithoïde, qui ont pu se faire par voie sédimentaire dans certains bassins où dominaient les éléments réducteurs (par exemple, à l'époque houillère), ou ceux d'oxyde de fer, qui ont eu lieu, au contraire, dans des conditions littorales, nous croyons que, dans l'immense majorité des cas, le fer, apporté par voie filonienne hydrothermale, a commencé par se déposer à l'état de sulfure (\*\*), et que,

(\*) Silicatés dans le cas du manganèse.

(\*\*) On doit également citer pour mémoire le cas de chlorure de fer constaté dans les fumerolles volcaniques.

si nous le trouvons à l'état de carbonate ou d'oxyde dans ces filons ou amas filoniens, c'est par une altération superficielle, plus ou moins avancée suivant les cas.

Ce n'est pas pour une autre raison, à notre avis, que l'on voit toujours les grands amas de carbonate de fer exclusivement encaissés dans les calcaires, tandis que les grands amas pyriteux, au contraire, existent seulement dans les schistes, et c'est également la cause pour laquelle, dans des filons altérés, la sidérose accompagnera fréquemment d'autres minerais, dus aussi au métamorphisme, comme le cuivre gris.

Dans notre hypothèse — et c'est un point sur lequel nous reviendrons bientôt — les grands amas de fer carbonaté, plus ou moins transformés eux-mêmes en oxyde, ne sont, comme ceux de zinc ou de plomb carbonaté, que des affleurements de filons sulfurés complexes, auxquels on arriverait si l'on s'enfonçait suffisamment.

C'est peut-être même par un phénomène analogue, mais très ancien et ayant été alors suivi d'un métamorphisme qui a fait passer entièrement le carbonate en oligiste ou magnétite, que l'on trouve, comme à Mokta-el-Hadid, des amas de ces oxydes, localement substitués à des calcaires.

### TROISIÈME PARTIE.

#### Application des idées précédentes à quelques métaux.

Laissant maintenant de côté ces idées générales, nous allons les préciser par l'examen de quelques cas particuliers : ce que nous ferons en étudiant successivement divers métaux. Nous ne les prendrons pas tous : outre que cela nous entraînerait bien au-delà des limites de ce

mémoire, nous nous trouverions arrêté par nombre de cas douteux et d'une interprétation encore mal élucidée; même dans les exemples que nous citerons, nous serons obligé souvent de dire nos incertitudes; mais les exemples bien clairs seront néanmoins assez nombreux pour appuyer les conclusions que nous voulons en déduire, et les autres serviront peut-être à attirer l'attention des observateurs sur quelques problèmes intéressants à résoudre.

**Métaux alcalins.** — Si nous commençons par les métaux alcalins, potassium, sodium et lithium, leur gisement primitif est, nous n'avons pas besoin de le dire, dans les roches cristallines, dont la principale, le granite, en renferme de 8 à 9 p. 100. Ces alcalis s'y trouvent dans les feldspaths et dans les micas. Le feldspath essentiel des granites, l'orthose, est un feldspath potassique, contenant, à l'état pur, 16,9 p. 100 de potassium, mais souvent mélangé de feldspaths sodiques, ou même calcaires; avec l'albite et les plagioclases domine, au contraire, la soude.

Dans les biotites, il entre de 6 à 8 p. 100 de potasse et de 0,2 à 1,40 de soude; dans la muscovite, jusqu'à 11,8 p. 100 de potasse, avec 0 à 2,50 de soude, dans la lépidolithe, 10,9 p. 100 de potasse et 4,2 p. 100 de lithine.

Ces alcalis sont très aisément solubles en présence des divers acides que renferme, un peu partout, une eau de surface, notamment l'acide carbonique emprunté à l'air, les acides chlorhydrique, nitrique ou sulfurique; et la lente corrosion superficielle de tous les massifs cristallins, aussi bien que la destruction de ces roches au fond de tous les anciens bassins sédimentaires, a dû avoir pour effet d'en concentrer des quantités considérables dans toutes les eaux courantes, qui les apportent elles-mêmes aux mers et aux lacs. La dissolution opérée sur un feldspath ayant toujours pour effet de forcer notablement, dans la liqueur, la pro-

portion de la soude par rapport à la potasse, on s'explique aisément comment ces eaux sont, avant tout, sodiques.

Nous croyons, d'ailleurs, que la salure des mers doit, en dehors de cette cause enrichissante, tenir à un phénomène géologique ancien, du même ordre interne que celui qui a rassemblé ces alcalis dans l'écorce et datant peut-être de la première consolidation du globe.

A leur tour, ces mers, en s'évaporant à diverses époques géologiques, ont laissé, dans les terrains sédimentaires, d'énormes amas alcalins, dont l'un, celui de l'Allemagne du Nord, n'a pas été traversé sur moins de 1.700 mètres d'épaisseur par le sondage de Sperenberg et la dissolution très facile, en même temps que l'abondance de ces sels, expliquent assez comment les alcalis sont, de tous les côtés, sur l'écorce, à l'état de circulation et de remise en mouvement constantes, si bien qu'il devient souvent impossible de dire à quel stade ils en sont de leur évolution.

On connaît les dépôts d'évaporation, soit anciens, soit récents, où la soude et, plus rarement, la potasse, se trouvent à l'état de chlorures, de nitrates, de sulfates, de carbonates, ou de borates.

Dans les gîtes filoniens proprement dits, les alcalis ne semblent pas s'être déposés au moment de la formation du filon: ce qui ne veut pas dire qu'ils n'aient pas été en grande abondance (comme nous le supposons, au contraire), à l'état de carbonates ou de sulfures, dans la circulation hydrothermale qui a incrusté ces filons, mais ce qui s'explique par leur solubilité même, celle-ci n'ayant pas permis le dépôt.

Quand on en trouve, c'est par un emprunt plus ou moins direct aux roches cristallines avoisinantes: notamment à l'état d'albite, ou de zéolites, et, ce nous semble, toujours comme un minéral de formation récente.

L'albite se présente dans les filons de galène de

Pesey (Haute-Savoie), ceux de blende d'Anglas (Eaux-Bonnes), etc. (\*).

Les zéolites, sortes de feldspaths hydratés à base d'aluminium, calcium, potassium ou sodium, plus rarement de baryum ou de strontium, sont toujours des produits secondaires d'altération aqueuse, associés avec d'autres produits secondaires, tels que la calcite, l'opale, l'épidote, la chlorite, et présentent l'un des exemples les plus nets de ces remises en mouvement que nous étudions en ce moment, appliquées aux alcalis des roches.

Dans les filons métallifères, qui constituent un des gisements connus de ces minéraux, de même que dans les vacuoles de roches basiques, c'est généralement une modification récente et limitée au niveau hydrostatique, qui a donné ces minéraux, parfois associés avec des métaux natifs, résultant eux-mêmes très probablement d'une réduction superficielle; tout au moins, ces zéolites paraissent-elles avoir été toujours formées aux dépens des roches encaissantes, bien qu'évidemment un apport hydrothermal et filonien pût logiquement s'être produit.

La laumonite a été découverte aux affleurements des filons de plomb de Huelgoat; l'harmotome est connue à Saint-Andreasberg, dans le Harz, et à Kongsberg en Norvège; d'autres zéolites ont été également trouvées à Saint-Andreasberg, etc.

Dans un gisement connu de zéolites, les mines de cuivre du Lac Supérieur, nous croyons trouver la trace d'une remise en mouvement très accentuée, qui, il est vrai, descend fort au-dessous du niveau hydrostatique correspondant aujourd'hui à l'élévation des eaux du grand lac voisin, mais qui peut, à une époque relativement récente, avoir été en relation avec un niveau alors différent de ces eaux.

(\*) LACROIX, *Minéralogie de la France*, t. II, p. 157.

Il semble bien, en effet, dans ce cas du Lac Supérieur, que la forme primitive du gîte ait été un grès ou un conglomérat cuprifère d'âge précambrien, analogue aux couches semblables qu'on connaît dans le permien de Perm ou de Corocoro et comparable également, par divers caractères, au conglomérat aurifère du Witwatersrand. Mais l'allure actuelle d'une grande partie de ces gisements, où l'on trouve les zéolites et la calcite, avec du cuivre et de l'argent natifs, est une allure d'altération: les métaux sont en relation avec des épidotites, des produits de pseudomorphose divers, sans compter les zéolites (laumonite, analcime, prehnite, etc.), et l'on a pu même soutenir que la précipitation du cuivre à l'état natif avait été produite par une sorte de cémentation, sous l'action des grains de fer oxydé disséminés dans les diabases.

On a retrouvé les zéolites, associées au cuivre natif, dans des conditions très analogues, à Sumbö et à Naalsö, au sud des Féroé, et, là aussi, il a été bien démontré que le cuivre avait pris, par un phénomène de métamorphisme secondaire, la place de minéraux préexistants, notamment de feldspath.

A Kongsberg également, M. Daubrée a signalé la présence de zéolites, qui peuvent n'être pas sans relation avec la présence persistante en profondeur de l'argent natif, minerai généralement secondaire et superficiel; dans les parties hautes de nombre de gisements argentifères, en même temps que l'argent natif apparaissait par altération, on a rencontré également des zéolites: harmotome au Sarrabus, en Sardaigne, etc.

**Calcium, baryum, strontium.** — Les minéraux du groupe, chaux, baryte, strontiane, sont parmi ceux qui forment, le plus fréquemment, la gangue des filons métallifères, et ils ont dû y arriver parfois dans les mêmes conditions que les métaux auxquels ils sont associés, apportés directe-

ment de la profondeur par les fumerolles (\*); il semble bien pourtant qu'une grande partie de ces substances ait été empruntée par les eaux thermales, dans leur trajet souterrain, aux roches cristallines, qui en contiennent toujours une quantité notable (\*\*), et, comme ces éléments se retrouvent un peu partout dans les terrains sédimentaires, il est même possible qu'ils aient été parfois simplement introduits, dans les parties superficielles des filons, par les remises en mouvement récentes.

Ce dernier ordre de réactions, qui nous intéresse particulièrement, est, en tous cas, parfaitement certain et admis de tous pour la calcite, dont la recristallisation en veinules dans les terrains disloqués, en stalactites ou stalagmites dans les grottes, etc..., est constante, et que nous pouvons, par suite, laisser de côté. Il paraît également bien net pour les rognons, ou veinules, de carbonate de strontiane, qu'on observe dans divers terrains (marnes de Meudon, etc...), pour la célestine, qui s'est concentrée avec le gypse de Sicile et même pour les imprégnations de barytine, qu'on a signalées dans des fossiles de divers niveaux : plantes du grès bigarré à Soultz-les-Bains, en Alsace ; fossiles jurassiques à Alençon, Nancy, Nontron (Dordogne), Whitby (Angleterre), plantes des grès tertiaires de Kreuznach.

C'est, peut-être, par une intervention superficielle de ce genre, qu'il faut expliquer la disparition, assez fréquemment constatée dans les filons, de la barytine en profondeur et son remplacement par du quartz (qui, dans

(\*) Il serait intéressant d'accumuler les observations sur les variations de la nature des gangues filoniennes, soit avec la profondeur, soit avec la nature des roches traversées par les filons.

(\*\*) M. Killing a calculé que 1 mètre cube du gneiss de la Forêt Noire, entièrement dissous, pourrait donner plus de 9 kilogrammes de barytine.

La teneur en chaux va en croissant, quand on passe des roches acides aux roches basiques, et atteint son maximum quand la magnésie domine. L'anorthite en contient jusqu'à 18,50 p. 100.

nombre de cas, tend également à se substituer à la calcite) (\*); bien des concentrations superficielles de barytine, d'oxyde de manganèse, ou d'oxyde de fer, dans lesquelles, par une altération connexe, s'est produit un enrichissement en argent, ne doivent pas avoir d'autre origine.

Nous citerons, à ce propos, le cas des filons d'argent du Sarrabus, en Sardaigne, filons où les réactions secondaires récentes avaient eu une influence manifeste dans les parties hautes et avaient déterminé la formation de minéraux argentifères proprement dits, argent natif, argent sulfuré et argent rouge, tandis qu'en profondeur on est tombé sur des sulfures complexes, avec gangue de fluorine blanche et de quartz. La barytine, qui accompagnait le quartz à la surface, a cessé assez vite.

Même fait s'est produit, au-dessous de 100 mètres, dans les filons de cuivre gris argentifères de Huanchaca, en Bolivie, qui nous semblent également devoir la nature spéciale de leur minerai et la persistance prolongée du cuivre gris et de la bournonite en profondeur, à leur situation dans un pays très accidenté, à plus de 5.000 mètres d'altitude : ce qui les met dans des conditions particulièrement favorables, au point de vue de la facile pénétration des eaux de surface jusqu'aux minerais.

A Aurouze, dans la Haute-Loire (\*\*), des filons de galène étaient assez riches en barytine à la surface, pour qu'on ait exploité spécialement cette substance : ils sont devenus quartzeux en profondeur.

Signalons encore le cas intéressant des barytines argentifères de Milo (\*\*\*) . Ces gisements, très irréguliers, sur lesquels le Gouvernement Grec avait, un moment, fondé

(\*) Au Sarrabus (Sardaigne), la calcite a disparu, comme la barytine, au-dessous du 12<sup>e</sup> niveau (*Gîtes métallifères*, II, 773).

(\*\*) *Gîtes métall.*, II, 515.

(\*\*\*) *Ann. des Mines*, septembre 1894 (*Bulletin*).

des espérances fort exagérées, se composent de concentrations absolument superficielles d'une barytine, souvent riche en argent, dans des poches d'argile d'une douzaine de mètres de profondeur, au milieu de trachytes, ou de liparites, qui renferment des veines métallifères inexploitable. Parfois (cap Vani), des masses de manganèse oxydé sont associées avec la barytine, et l'on a ainsi un passage au type des manganèses argentifères, si abondants en certains pays, notamment dans le Montana (\*), où l'oxyde noir de manganèse superficiel résulte évidemment de la décomposition d'un silicate rose, que l'on retrouve en profondeur.

Ce rapprochement entre la baryte et le manganèse est un de ceux que présentent le plus fréquemment les formations superficielles et, dans bien des cas, on peut constater que ces deux substances ont été concentrées, par la circulation des eaux, dans des poches, ou des fissures des terrains.

Mais, si nous sommes disposé à admettre une origine de ce genre pour certains filonnets barytiques, il serait probablement très exagéré d'interpréter de même, ainsi que l'ont fait quelques chimistes, tous les filons de barytine et d'attribuer à cette substance une origine exclusivement superficielle (\*\*).

(\*) *Gîtes métallifères*, II, 808. — Cf. *l'Argent* (chez Baillière), p. 59 et 90.

(\*\*) C'est sur des filons de barytine cobaltifère, encaissés dans les granites et les gneiss de l'est de la Forêt Noire, qu'ont porté principalement les intéressants travaux de Sandberger (*Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 2 novembre 1877, p. 377), sur lesquels il a basé sa théorie de la formation des filons par lessivage contemporain des roches. Les résultats n'en sont guère concluants. Le granite porphyroïde d'Achern, qui ne renferme pas de baryte dans ses éléments, présente cependant quelques filons de cette substance. Le granite non porphyroïde, plus riche en baryte, l'est, il est vrai, également plus en filons, qui, vers Schapbach et Wittichen, atteignent 1<sup>m</sup>,50 de puissance, avec une forte proportion d'argent et de cobalt; mais (ce qui montre bien le peu de valeur théorique de ces analyses) sur deux granites analysés, l'un frais,

Dans la plupart des champs de fractures à remplissage complexe, en Saxe, en Bohême, dans le Harz, à Vialas (dans la Lozère), etc., on trouve, en effet, des gangues barytiques associées, jusqu'à des profondeurs où le remaniement superficiel ne peut réellement plus être mis en cause, avec des sulfures métalliques divers. Il reste seulement à se demander, dans certains de ces cas — et c'est ce qu'une étude très détaillée sur le terrain, faite dans cet ordre d'idées nouveau, pourrait seule éclaircir — si cette barytine, ainsi que la calcite et la dolomie des mêmes remplissages, n'aurait pas été empruntée, au moins en partie, par la circulation hydrothermale aux roches encaissantes et si l'on n'aurait pas affaire, plus d'une fois, à des remises en mouvement, produites, dans la réouverture d'un filon, par le passage des eaux chaudes, sur les substances antérieurement déposées.

L'autre altéré, il se trouve, par hasard, que le second renferme de la baryte, le premier pas. Enfin le gneiss légèrement barytique (0,81 p 100 dans l'orthose) contient des filons à Zell et à Schapbach, qui dépassent 10 mètres de puissance, filons avec barytine, galène, etc. La présence des filons, à la fois dans toutes ces roches diverses d'un même district, nous paraît, à elle seule, contrairement aux idées de Sandberger, une forte présomption que leur remplissage ne vient pas des roches, mais d'ailleurs.

D'autres filons de la Forêt Noire contiennent, avec la barytine, de la fluorine, dont il explique la présence par un lessivage des micas fluorés. Cette fluorine, parfois assez abondante pour être exploitée, a, suivant lui, subi l'action précipitante de matières organiques qui l'ont colorée. On sait, d'ailleurs, que la fluorine d'origine sédimentaire a été rencontrée plusieurs fois ailleurs, notamment dans le bassin de Paris, où elle a été évidemment produite par remise en mouvement. La barytine, à son avis, serait arrivée en dissolution de sulfate dans l'acide carbonique et non en sulfure.

Un des faits, sur lesquels Sandberger appuie le plus sa thèse, à savoir l'altération des roches au contact des filons, est absolument général et s'explique, très aisément, par la façon dont les plans de filons conduisent l'infiltration des eaux superficielles, infiltrations, qui, dans ce cas particulier, ont des chances pour se charger d'éléments acides. C'est renverser absolument les termes du problème que d'en conclure que l'altération a été la cause, et non la conséquence du filon. Il est, d'autre part, très naturel, en toute hypothèse, que les roches altérées soient appauvries en métaux solubles.

Il est à remarquer, en effet, que, dans la plupart de ces champs de filons, les venues barytiques que l'on a décrites, étaient, dans les idées anciennement admises, considérées comme postérieures aux venues sulfurées quartzes.

A Freiberg (\*), les venues barytiques (*Schwerspath Formation*) sont accompagnées souvent d'hématite rouge et de cuivre gris, c'est-à-dire de minerais d'altération, et recourent constamment les filons sulfurés, par suite plus anciens. A l'intersection de ces croiseurs barytiques et des filons sulfurés, on paraît avoir la trace de remaniements récents, sous la forme de grands amas argentifères, qui ont présenté parfois une richesse énorme : amas d'argent rouge, argent sulfuré, argent natif et dolomie récente, se terminant souvent, en haut et en bas, par des masses de galène pauvre, reposant directement sur la barytine.

A Annaberg, une venue, essentiellement caractérisée par la barytine et la fluorine, avec des quartz rougeâtres, contenait des minéraux d'argent proprement dits, notamment de l'argent natif, qu'on est, très souvent, conduit à considérer comme le produit d'une sécrétion, avec du cuivre pyriteux, transformé en cuivre gris à la périphérie (\*\*).

En Bohême, à Prizibram (\*\*\*), on a très bien observé que le remplissage sulfuré ancien avait été brisé par une réouverture, ayant donné passage à une venue barytique, puis calcaire, qui a souvent englobé des blocs aigus du remplissage antérieur, et qu'il s'est produit alors un remaniement par dissolution du premier dépôt de sulfure, avec formation d'une zone discontinue de galène secondaire, où l'argent s'est concentré, soit à l'état natif, soit à l'état d'antimoniosulfures complexes.

(\*) *Gîtes métall.*, II, 591, 594 et 596.

(\*\*) *Ibid.*, II, 602.

(\*\*\*) *Ibid.*, II, 574. La calcite paraît là avoir été souvent empruntée aux grûnsteins, qui encaissent les filons.

A Mies, la barytine est associée avec de la cérusite et de la pyromorphite, c'est-à-dire avec des produits de remaniement incontestables de la galène.

Dans le Hartz, à Clausthal (\*), une venue de barytiné et calcite succède également, comme un fait relativement exceptionnel, à la venue des sulfures quartzes.

A Vialas, en Lozère (\*\*), l'on retrouve, de même, après les venues de sulfures et quartz assez pauvres en argent, des venues de barytine et de calcite, souvent caractérisées par un enrichissement en argent.

Il existe, par contre, dans les régions disloquées de massifs anciens, sur les bords du Plateau Central, dans le Bourbonnais, dans les Cévennes et, de même, dans les Vosges, la Forêt Noire, puis la Saxe et la Bohême, en un mot, sur la longueur de la chaîne hercynienne, un type de filons que l'on retrouve constamment, en veinules souvent fort étroites, au milieu des granites, gneiss, etc.

Ces filons, quand ils sont complets, renferment : quartz, barytine, célestine, fluorine et galène; mais la célestine y est rare, et la galène fait souvent défaut. Ils présentent souvent une relation plus ou moins directe avec les métallisations du même genre qu'on observe, au voisinage, dans certaines couches littorales du trias ou de l'infralias, particulièrement dans des dépôts de quartz carié. D'autres filons barytiques d'Auvergne recourent jusqu'à l'oligocène.

Parfois, bien qu'on n'ait pas eu lieu de suivre en profondeur des veinules aussi minces et d'aussi faible valeur, on a la preuve indirecte qu'elles doivent se prolonger, comme lorsqu'à Bourbon-l'Archambault et à Nérès on voit sortir, de deux d'entre elles, des sources à 53°, qui doivent remonter, par suite, d'au moins 1.700 mètres. Les exemples sont, du reste, très nombreux de sources

(\*) *Gîtes métal.*, II, p. 581.

(\*\*) *Ibid.*, II, p. 543.

thermales, suivant souterrainement des plans de fissure incrustés par des filons semblables; ainsi: à Plombières, filons de quartz et fluorine; à Lamalou, de barytine.

Il semble bien, dans ces cas, que la barytine ait une allure véritablement filonienne, et, si l'on veut à toute force que son origine soit superficielle, tout au moins faut-il admettre qu'elle a passé par un circuit hydrothermal avant de venir incruster ces fissures (\*).

Si nous revenons à la baryte ou à la strontiane d'origine superficielle, nous devons remarquer que les roches cristallines et, dans celles-ci, spécialement le feldspath, les micas, les pyroxènes, en renferment des traces sensibles, traces qui, par un phénomène intéressant à noter, se concentrent et deviennent beaucoup plus caractéristiques dans les produits d'altération, tels que les zéolites (brewstérite: 8,9 SrO + 6,6 BaO; harmotome: 20,6 BaO; edingtonite: 26,84 BaO), montrant ainsi, dans un cas particulier, comment ces substances, d'abord disséminées, peuvent arriver, près de la surface, à s'accumuler en quelques points.

Les analyses en ont surtout constaté la présence dans l'orthose: ce qui, suivant une remarque de M. Lacroix, à l'obligeance duquel nous devons les éléments principaux du tableau suivant, doit tenir, sans doute, en partie, à ce que, dans l'orthose, qui n'aurait dû contenir que de la potasse, la baryte a attiré l'attention, tandis que, dans les plagioclases, on l'aura confondue avec la chaux. On a néanmoins signalé récemment une anorthite de baryte

(\*) La strontiane, moins abondante que la baryte dans les gangues de filons, s'y rencontre pourtant. On sait que les roches éruptives basiques renferment souvent une assez forte proportion de strontiane. Nous manquons de renseignements assez précis sur les filons curieux de strontianite d'Ahlen, de Westphalie, pour dire s'il s'agit de véritables filons profonds, ou plutôt de concentrations dans des fissures superficielles.

(celsian), trouvée à Jacobsberg (Suède), dans un gisement de magnétite.

Voici, d'après des notes inédites de M. Lacroix, une série d'analyses d'orthoses, de micas et de pyroxènes, où l'on a reconnu la présence de baryte en proportions très sensibles; la strontiane est beaucoup plus rare: ce qui correspond avec sa présence également bien moins fréquente dans les filons.

TENEUR EN BARYTE ET STRONTIANE DE DIVERS MINÉRAUX DES ROCHES.

## Baryte.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Baryte.....	0,14	0,17	0,21	0,22	0,28	0,32	0,41	0,42	0,48
	10	11	12	13	14	15	16	17	
Baryte.....	0,50	0,56	1,18	1,28	1,34	1,43	2,27	3,95	
Strontiane..							0,36		

1. Carlsbad. — RÖSSLER, cité par RAMMELSBURG, *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1886, t. XVIII, p. 393.
2. Fibia, dans le St-Gotthard. — SCHWALBE-KENNGOTT, *Uebersicht der Resultate mineralogischer Forschungen in den Jahren*, 1861, p. 73.
3. Bodenmais. — TIELE, *Zeitschrift für Krystallographie*, t. XXIII, p. 295.
4. Schaphbach, duché de Bade. — NESSLER-KENNGOTT, *Uebersicht der Resultate mineralogischer Forschungen in den Jahren*, 1862-1865, p. 181.
5. Bodenmais. — KLOSS, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1884, t. II, p. 182.
6. Mitterwasser, près Wegscheid. — GÜMBEL, *Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges*. Gotha, 1888, p. 355.
7. Lac de Laach, près Coblenz. — VON RATH, *Poggendorf Annalen*, 1868, t. CXXXV, p. 562 (Sanidine).
8. Bodenmais. — GÜMBEL, *Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges*, 1868, p. 237.
9. Carlsbad. — RAMMELSBURG, *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1866, t. XVIII, p. 394.
10. Kirchberg. — GÜMBEL, *Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges*. Gotha, 1868, p. 291.
11. Drachenfels. — LEMBERG, *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1883, t. XXXV, p. 603 (Sanidine dans le Trachyte).

12. Portici. — KNOP, *Kaiserstuhl en Breisgau*. Leipzig, 1892, p. 95 (Sanidine).

13. Horberig près Oberbergen. — KNOP, *Kaiserstuhl en Breisgau*. Leipzig, 1892, p. 95 (Sanidine).

14. Wehr (Schwarzwald). — LEMBERG, *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1883, t. XXXV, p. 603 (Sanidine).

15. Bischoffingen. — KNOP, *Kaiserstuhl en Breisgau*. Leipzig, 1892, p. 95 (Sanidine).

16. Meiches, dans le Vogelsberg. — KNOP, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1865, p. 687.

17. Blue Hill (Delaware C<sup>s</sup>), Pensylvanie. — PENFIELD and SPERRY, *The American Journal of Science*, 1888, 3<sup>e</sup> série, t. XXXVI, p. 327.

ORTHOSE DE BARYTE (*Nyalophane*).

	1	2
Baryte.....	15,05	7,30

1. Binnenthal (Schweizerland). — STOCKAR-ESCHER-KENNGOTT, *Uebersicht der Resultate mineralogischer Forschungen in den Jahren 1856-1857*, p. 107.

2. Jakobsberg (Suède). — IJELSTROM, *Bulletin de la Société minéralogique de France*, t. VI, p. 139.

## Pyroxène.

	1	2
Baryte.....	0,19	0,31
Strontiane ..		

1. Meiches, dans le Vogelsberg. — KNOP, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1865, p. 694 (augite).

2. Jagersfontein (Etat libre d'Orange). — COHEN, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1879, p. 867 (diopside).

## Mica.

	1	2	3	4	5	6
Baryte.....	6,84	5,91	4,65	1,05	0,79	0,23
Strontiane.	0,47		0,09			

1. Schelingen, en Kaiserstuhl. — KNOP, *Zeitschrift für Krystallographie*, t. XII, p. 604 (biotite).

2. Pfitschthal, près Sterzing, en Tyrol. — RAMMELBERG, *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1862, t. XIV, p. 763 (muscovite).

3. Rothenkopf, en Zillertal. — G. TSCHERMAK, *Zeitschrift für Krystallographie*, t. III, p. 150 (analyse de Oellacher) (muscovite).

4. Wermland (Suède). — IJELSTROM, cité par RAMMELBERG, *Handbuch der Mineralchemie*, 2<sup>e</sup> éd. Leipzig, 1875, p. 535.

5. Grindelwald. — FELLEBERG, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1867, p. 363 (muscovite).

6. Silberberg. — THIELE, *Zeitschrift für Krystallographie*, t. XXIII, p. 296 (biotite).

Le sulfate de baryte étant un sel remarquablement insoluble, c'est évidemment celui des composés du baryum qui a eu le plus de propension à se produire, et, toutes les fois que de la baryte a commencé par être empruntée à une roche à l'état de carbonate, elle a eu aussi une tendance, sous l'action de l'acide sulfurique produit par l'oxydation superficielle des sulfures métallifères, à passer à l'état de barytine.

**Magnésie.** — La magnésie joue, dans les roches basiques, un rôle tout particulièrement important et, plus encore que le fer, elle les caractérise. C'est ainsi que l'olivine en contient jusqu'à 50 p. 100, la serpentine 41 à 44, le grenat pyrope jusqu'à 22, l'augite jusqu'à 16. On en trouve des quantités très notables, dans les terrains sédimentaires, à l'état de dolomie (teneur théorique, 24,26 p. 100), et la mer en renferme une proportion assez sensible : 3,91 parties pour 1.000 de chlorure de magnésium, 1,69 de sulfate de magnésie et 0,07 de brome, contre 27 parties de chlorure de sodium : ce qui a permis à certains dépôts d'évaporation, tels que ceux de Stassfurt, d'en contenir de véritables gisements (carnallite, polyhalite, etc.).

Par contre, la magnésie n'offre, dans les filons métallifères, qu'une importance assez insignifiante et y est à peine

représentée par quelques gangues dolomitiques, jouant un rôle analogue à la calcite, à la sidérose ou au carbonate de manganèse et pouvant même, ainsi que ces carbonates, avoir été empruntées, par les dernières eaux thermales chargées d'acide carbonique, aux terrains traversés.

Ainsi, dans l'*Edlebraunspath Formation* de Freiberg, on trouve simultanément : dolomie, calcite, rhodonite et sidérose, avec enrichissement en argent (\*), et on a cru remarquer que l'abondance de la dolomie et de la calcite se manifestaient spécialement au voisinage des grüns-teins.

Il est facile de concevoir que les remises en mouvement aient été très nombreuses avec un métal aussi répandu et formant un bicarbonate soluble.

La roche magnésienne, par excellence, c'est la péridotite, avec les serpentines, qui en dérivent par un métamorphisme plus ou moins ancien (\*\*), et c'est, en effet, en relation avec ces roches que l'on trouve tous les dépôts magnésiens, d'origine constamment superficielle. Leur mode de formation paraît être le suivant.

Le péridot se altère très facilement en carbonate de magnésie, qui se dissout, laissant un résidu de silice à l'état d'opale et des produits ferrugineux. Il peut alors arriver que ce carbonate vienne incruster des fentes et, surtout si la réaction a été produite par des eaux thermales, que ces filons de giobertite prennent un développement important. C'est presque certainement ainsi que se sont formés ceux de Mandoudi, dans l'Eubée (\*\*\*)

(\*) *Gîtes métal.*, II, 597.

(\*\*) La serpentinisation consiste dans une hydratation de l'olivine, qui, dans bien des cas, se prolonge très profondément dans les roches et peut même être contemporaine de leur cristallisation. Accessoirement, la serpentine (antigorite, bastite) peut résulter de l'altération du pyroxène, de l'amphibole, etc.

(\*\*\*) *Gîtes métal.*, I, 573.

La magnésite (écume de mer) peut résulter d'une transformation analogue et constitue également des veines dans la serpentine (\*); mais on la trouve aussi, toujours comme produit de remise en mouvement, dans divers terrains sédimentaires, notamment, à Paris même, au niveau du calcaire de Saint-Ouen, associée à divers produits d'évaporation, tels que le gypse.

Ainsi que nous l'avons rappelé précédemment, les péridots semblant constituer la scorie profonde et basique par excellence, il est tout naturel qu'on y constate la présence de traces métalliques diverses, qui apparaissent également dans les pyroxènes, les amphiboles et les micas noirs. Entre ces métaux, le chrome, le nickel et le cobalt, appartenant au même groupe que le fer (\*\*), sont parfois arrivés à former des concentrations assez notables, soit par une ségrégation ancienne, soit par une altération récente.

**Chrome.** — Le chrome, par exemple, apparaît toujours dans des péridotites, ou dans des serpentines produites par leur altération, à l'état de fer chromé, jouant dans ces roches exactement le même rôle que les autres oxydes de même formule :  $\text{Cr}^2\text{O}^3$  au lieu de  $\text{Fe}^2\text{O}^3$ ,  $\text{Al}^2\text{O}^3$ , ou  $\text{FeOTiO}^2$ . De même que l'on a des magnétites titanifères dans les hypérites à olivine de Taberg, les serpentines de Cogne, les gabbros du Mesabi Range, ou les norites d'Ekersund (ces dernières associées, d'après M. Vogt, à du spinelle chromifère), on connaît, en Nouvelle-Zélande, des dunites, formées de fer chromé et olivine, et des serpentines, dans lesquelles le fer chromé entre en toutes proportions, depuis de simples grains disséminés, jusqu'à des amas volumi-

(\*) C'est probablement l'origine des gîtes d'Eskey-Sheir en Asie-Mineure (*Gîtes métal.*, I, 575).

(\*\*) Le cuivre est également assez fréquent dans l'olivine.

neux. La ségrégation de ces amas paraît contemporaine de la consolidation de la roche.

**Nickel.** — Le nickel se présente, comme un élément essentiel, dans ces magmas métalliques profonds, qui constituent les météorites, ou dans les fers natifs du Gröenland et de la Nouvelle-Zélande; il est tout naturel de le retrouver dans des roches basiques et, en particulier, dans les serpentines de Nouvelle-Calédonie, où il entre dans une proportion de 5 p. 100. Dans ce cas, un simple départ superficiel paraît être l'origine des gites de concentration, formés de silicates nickelifères et magnésiens (\*). Ailleurs, comme en Norvège, une ségrégation, contemporaine de la consolidation de gabbros, a produit, à leur périphérie, des pyrrhotines nickelifères; enfin le nickel se présente à l'état de vrais filons arséniosulfurés.

En Nouvelle-Calédonie, la garniérite est accompagnée de fer chromé, d'oxyde de cobalt manganésifère (asbolite), d'hématite, de magnétite, etc., et se trouve, comme on sait, en veines à la périphérie de poches, creusées, par altération superficielle, dans les fissures de la serpentine et remplies d'un résidu d'argile rouge.

Il est assez facile de s'expliquer comment ces divers métaux ont pu se concentrer ainsi, sans même faire intervenir les phénomènes de ségrégation contemporains de la cristallisation des péridotites, qui, cependant, ont dû, particulièrement pour le fer chromé, commencer par jouer un rôle capital.

Il suffit, en effet, d'avoir examiné quelques roches au microscope pour avoir remarqué avec quelle facilité l'altération des silicates y détermine le groupement des éléments ferrugineux, en produisant de véritables chapelets de

(\*) *Gîtes métal.*, II, 49. — Cf. LACROIX, *Minéralogie de la France*, I, 157, 183, 438.

fer magnétique (ou de fer chromé, si le silicate était chromifère). Par l'action seule de l'acide carbonique et de l'eau, tous les métaux de la roche, fer, nickel, manganèse, cuivre, etc., ont une tendance à s'isoler de la silice, qui se concentrera en opale, et cette tendance est encore accentuée si la roche basique contient, comme c'est le cas habituel, des sulfures propres à donner des sulfates solubles.

Dans les gisements calédoniens, la garniérite (hydro-silicate de nickel et magnésie) s'est localisée en veines dans la serpentine, à la périphérie des vasques argileuses, le long desquelles la circulation des eaux a dû atteindre son maximum d'intensité; ces veines pouvant atteindre (Mine Pauline) jusqu'à 6 et 8 mètres de large; le fer chromé peut également se trouver en amas, ou filonnets, dans cette roche: ce qui correspond au gisement, absolument général, de ce minerai en tous pays; au contraire, les oxydes de fer ou de cobalt manganésifère se sont isolés, au milieu du résidu argileux même, dans les conditions où nous connaissons, en tant de points, sur des plateaux calcaires, des oxydes de fer et de manganèse, du phosphate de chaux ou de la barytine: la présence anormale du cobalt étant facilement explicable par les traces de ce métal, qui accompagnent le nickel dans tous ses gisements (\*).

En d'autres points du globe, le nickel s'est séparé de la roche basique, au moment même de sa consolidation, entraîné vers sa périphérie par un excès de minéralisateurs sulfurés et peut-être de vapeur d'eau, qui lui prêtait une suffisante mobilité.

C'est ainsi que semblent s'être formés les gites de pyrrhotines nickelifères, spécialement étudiés par M. Vogt, en Norvège, autour de norites et de gabbros; ailleurs, comme

(\*) La teneur en cobalt des minerais triés n'est que de 3 à 4 p. 100.

à Sudbury, au Canada, à Varallo, en Piémont, autour de gabbro-diorites, de diabases à olivine, etc. : dans tous les cas, en relation avec des roches ne contenant pas plus de 56 p. 100 de silice.

M. Vogt a fait cette remarque curieuse que l'abondance de la pyrrhotine semblait, dans une certaine mesure, proportionnelle à la dimension du massif de gabbro, et que, dans la pyrrhotine, les métaux : nickel, cobalt et cuivre (qui sont, avec le fer, à peu près les seuls intervenants) conservaient, en général, une proportion assez constante : pour 1 de nickel, en Norvège,  $1/15$  à  $1/3$  de cobalt, en moyenne  $1/6$ ; à Varallo,  $1/2$ ; à Sudbury,  $1/15$  et, dans le fer natif d'Ovifak,  $1/3$ ; pour 1 de nickel, en Norvège,  $1/5$  à 1 de cuivre; à Sudbury,  $1/2$  à  $3/2$ ; à Ovifak,  $1/5$ .

Si on compare les teneurs de ces métaux dans la pyrrhotine à celles dans la roche mère, on voit que le cuivre s'est plus concentré que le nickel, et le nickel plus que le fer. Cette loi de proportionnalité, si approximative qu'elle puisse être, présente un certain intérêt; car elle prouve, dans la composition des magmas métalliques profonds ayant fourni la roche basique en divers points du globe, une constance relative, à laquelle il était, d'ailleurs, assez logique, dans notre théorie, de s'attendre.

**Fer.** — Le fer, très abondant dans la nature, peut se présenter sous un certain nombre de formes principales : fer natif, oxydes et silicates plus ou moins complexes, accessoirement sulfures, constituant les gites d'inclusions et de ségrégation directe; sulfures, arséniosulfures, carbonates et oxydes, composant les gites filoniens; carbonates et oxydes, formant les gites sédimentaires.

Dans chacune de ces catégories de gisements, il y a lieu de distinguer, suivant une remarque précédente, ce qui est la formation primitive, originelle, et ce qui peut

être le produit d'une altération superficielle; et ces remises en mouvement sont, pour ce métal, aisément soluble à l'état de carbonate ou de sulfate, particulièrement faciles et particulièrement abondantes, en sorte qu'elles contribuent à introduire dans les phénomènes une assez grande complication.

L'altération des minerais de fer, comme celle de tous les autres minerais, s'est toujours faite essentiellement sous une influence oxydante, avec tendance à produire le minerai le plus stable, c'est-à-dire celui dont la formation développe le plus de calories : dans ce cas, le sesquioxyde. Toutes les fois qu'une intervention étrangère n'est pas venue apporter de la chaleur, comme cela a eu lieu parfois par métamorphisme, on est donc passé du sulfure, ou du silicate, d'abord au sulfate ou au carbonate, puis au sesquioxyde, et le carbonate (qui est un sel de protoxyde), tout aussi bien que la magnétite (qui est un oxyde incomplet), n'ont pas pu subsister en présence d'un excès d'oxygène, mais se sont alors transformés en hématite.

Une influence calorifique, telle qu'il a dû s'en rencontrer dans les actions de métamorphisme, peut naturellement avoir eu, dans une certaine mesure, un effet inverse et l'hématite brune a été alors ramenée, d'abord à l'état d'hématite rouge, puis de magnétite; le fer carbonaté, par dégagement de l'acide carbonique et légère oxydation s'est, dans les mêmes conditions, transformé directement en magnétite. Cette dernière réaction a pu contribuer à la localisation habituelle de la magnétite dans les calcaires des terrains métamorphiques, le fer étant en hématite dans les bancs siliceux des mêmes niveaux.

Ces notions générales sont bien connues, et l'on a, maintes fois, décrit les chapeaux de fer hydroxydés, qui se produisent par la circulation des eaux superficielles sur les affleurements des gites sulfurés, en les considérant même, parfois, par une sorte de superstition, comme un indice

favorable pour la richesse en profondeur. Mais l'origine réelle des grands amas de fer carbonaté et leur assimilation avec les gites calaminaires, ainsi que le mode de formation de certains dépôts peroxydés, ne nous paraissent pas avoir été bien reconnus jusqu'ici.

Les amas de fer carbonaté, qui constituent, dans quelques régions, comme les Pyrénées, l'Erzberg styrien, etc., d'importantes réserves de minerai ferrugineux, d'autant plus considérables, dans certains cas, qu'on les a longtemps négligées et laissées de côté, ne nous semblent être qu'une forme intermédiaire et, en quelque sorte, provisoire, dérivant d'un gîte sulfuré profond, recouvert par un gîte oxydé superficiel plus ou moins épais et tendant constamment à s'accroître par altération : gîte oxydé, sur lequel ont porté les efforts des anciens exploitants.

On a généralement admis, quand on a étudié ces amas, que le fer s'était, dès l'origine, déposé sous cette forme carbonatée : soit que l'on ait soutenu l'origine filonienne et hydrothermale, c'est-à-dire l'incrustation par ce carbonate de fentes préexistantes, ou sa substitution directe à d'autres terrains calcaires ; soit que l'on ait admis l'origine sédimentaire, c'est-à-dire le dépôt contemporain de celui des couches encaissantes ; et, dans cette dernière théorie, on assimilait ces amas avec les couches ou lentilles de carbonate de fer du terrain houiller, que nous considérons, en effet, comme sédimentaires, mais dont l'allure est absolument différente de celle des gisements envisagés en ce moment.

Nous sommes, au contraire, frappé de voir ces gisements, carbonatés et oxydés, se présenter toujours dans des circonstances très caractéristiques qui sont les suivantes :

1° Ces gisements sont toujours encaissés dans des calcaires, avec lesquels ils présentent tous les types de passage (rohward de Styrie, calcaire rouge métalli-

fère de Rancié), c'est-à-dire que, dans toute hypothèse, il y a eu substitution du carbonate de fer au carbonate de chaux, le fer ayant pénétré dans le calcaire (comme on l'observe dans tous ces gites de substitution, notamment dans les gites calaminaires), en suivant les plans de cassure, les diaclases, et laissant souvent, au centre, des noyaux inaltérés.

Dans une région métallifère déterminée, comme les Pyrénées, on constate souvent très bien que la venue métallisante ferrugineuse a affecté des terrains d'âge et de nature divers, par exemple des schistes et des calcaires ; mais, dans les schistes, où elle a rencontré un terrain inaltérable, tant au moment du dépôt même que lors des remises en mouvement postérieures, elle a, beaucoup plus rarement, pris de l'extension, et le peu d'importance industrielle de ces gisements schisteux a souvent fait qu'on les a négligés dans les descriptions et, par suite, laissé même de côté dans les études théoriques, pour n'envisager que les gisements plus riches, encaissés dans les calcaires.

Il existe cependant, au milieu des schistes, de grands gisements de fer, mais alors à l'état de fer sulfuré, qui constituent ces amas pyriteux considérables, exploités dans le sud de l'Espagne, en Norvège, etc. ; ceux-là semblent s'être produits sur des points de dislocation et de broyage, particulièrement affectés par les actions dynamiques, où les schistes, émiettés, réduits en poussière, ont prêté à l'intrusion des magmas sulfurés un accès particulièrement facile (\*).

(\*) Nous avons été heureux de voir que M. Vogt, qui a consacré récemment une longue étude à ces amas pyriteux, les considère, avec nous, comme d'origine filonienne, probablement liée à des venues de diabases et étend même cette conclusion au gîte du Rammelsberg, pour lequel la théorie sédimentaire, adoptée dans ces dernières années par les géologues allemands, nous avait toujours paru extrêmement contestable.

C'est un fait très remarquable que les grands amas de fer sulfuré sont toujours dans les schistes, les grands amas de fer carbonaté étant dans les calcaires et, si l'on admet, comme nous le croyons à peu près certain, dans les deux cas, une origine filonienne, cela seul suffirait à faire penser qu'une venue ferrugineuse unique, par suite très probablement sulfurée, a, suivant la nature des terrains rencontrés sur son passage, donné ici et là ces minerais différents.

Mais on peut, croyons-nous, serrer le problème de plus près, en se fondant sur d'autres remarques.

2° Les amas de fer carbonaté, partiellement transformés en oxyde à la surface, se présentent toujours dans des régions accidentées, à fort relief, où la pénétration des eaux superficielles a été facile.

Dans les Pyrénées, notamment, c'est un fait assez frappant que les gîtes les plus complètement peroxydés, c'est-à-dire les plus riches et les plus purs, se trouvent souvent à des hauteurs inaccessibles; puis, que, dans une zone plus basse, on trouve du carbonate, avec proportion plus ou moins forte d'hématite, et que, lorsqu'on arrive dans les fonds de vallées, on rencontre des minerais de moindre valeur, parce qu'ils sont, dit-on, plus chargés de soufre, c'est-à-dire, en réalité, des hématites ou des carbonates provenant de sulfures qui n'ont pas complètement disparu, n'ayant pas été entièrement oxydés (\*).

(\*) A Rancié, il existe une catégorie de minerais inexploités, formés de fer carbonaté blond, non peroxydé (ce qui prouve qu'on est dans une zone où l'altération superficielle a été réduite au minimum) et parsemé de pyrites. Le passage de l'hématite au fer carbonaté en profondeur est très net pour ce gisement (*Gîtes métal.*, I, p. 689) Dans les gisements de l'Erzberg styrien (*Ibid.*, I, p. 749), la pyrite est également fréquente. A Mokta el Hadid (*Ibid.*, I, p. 724), comme dans tous les gisements ayant subi un métamorphisme, le carbonate, forme habituelle du fer en profondeur dans les calcaires, a, s'il s'est produit autrefois, été transformé entièrement en magnétite (altérée en hématite, près des affleurements actuels); mais on trouve des veinules de pyrite de fer, avec mouches de

Au-dessous des thalwegs, on n'exploite plus rien, non pas seulement parce que les travaux seraient plus coûteux, mais surtout parce que ce qu'on rencontrerait serait des gîtes sulfurés.

Cette relation de la nature des gîtes avec le relief actuel suffit bien à montrer qu'il n'y a pas là un phénomène ancien, réellement contemporain de la formation filonienne, mais, au contraire, un résultat d'altération récente.

L'observation faite pour les gîtes en amas s'étend même, dans une certaine mesure, à quelques filons de sidérose. Ces filons, assez rares d'ailleurs, sont souvent situés dans des régions accidentées, et la sidérose, que l'on voit souvent passer à la pyrite en profondeur, y est fréquemment accompagnée de minerais de métamorphisme, tels que le cuivre gris, avec lequel son association est bien connue.

Nous ne citerons que le cas des nombreux filons de sidérose et cuivre gris de l'Isère, qui semblent bien provenir de pyrite de fer, plus ou moins cuivreuse, ou de chalcopyrite, dans lesquels existaient parfois des traces d'or, qui ont pu se concentrer, en même temps, aux affleurements. A côté de cela, il est vrai, on peut, comme à Prziham, trouver, en profondeur, de la sidérose alternant avec la galène et être conduit à supposer qu'elle s'est déposée là directement d'une dissolution carbonatée.

Mais, en ce qui concerne les grands amas, nous croyons pouvoir admettre que le carbonate de fer s'est, comme la calamine ou la cérusite, produit par réaction du calcaire sur des sels provenant de la dissolution du sulfure; seulement, à la différence avec ces derniers carbonates, celui de fer ne

galène et de pyrite cuivreuse. Nous insistons sur cette idée que, dans les beaux gisements de fer oxydé et carbonaté, des considérations industrielles ont souvent contribué à faire négliger, ou passer sous silence, les mouches de pyrite, plus fréquentes qu'on ne le croit.

représente pas une forme stable ; il n'a pu se produire que là où l'oxygène manquait, où l'on était à l'abri de l'influence de l'air et, toutes les fois que cette action oxydante de l'air a pu se faire sentir, elle l'a transformé en sesquioxyde.

C'est là une réaction chimique, dans laquelle le facteur temps joue un rôle considérable, et c'est parce que le relief actuel, donc la mise à jour des minerais sulfurés et carbonatés, ne date que d'un temps relativement restreint, que cette action est restée incomplète dans certaines régions, comme les Pyrénées.

3° Une remarque venant à l'appui de notre thèse, c'est que, dans ces gisements de fer carbonaté ou oxydé des Pyrénées, non seulement, quand on atteint des parties ayant mieux échappé à l'altération, on trouve du sulfure de fer, mais qu'on y trouve même d'autres sulfures métalliques ; par exemple, de la galène, dont la présence a été reconnue avec étonnement dans divers gites de fer oxydé pyrénéens. Cette observation concourt à faire considérer les gites filoniens d'hématite ou de sidérose comme de simples chapeaux d'affleurements de filons complexes et comme un type, seulement plus riche, d'une catégorie de minerais de fer oxydés, que l'on connaît bien sur les parties hautes des filons de métaux plus précieux, où on ne la considère généralement que comme une gêne (\*).

4° Enfin, dans nombre de ces gites du type calaminaire, on a la preuve de circulations d'eau récentes au contact du gisement. C'est ainsi que, pour le zinc, nous citerons les accumulations d'alluvions au-dessus du grand amas calaminaire à Malfidano (\*\*), les grottes avec cristaux

(\*) Nous remarquerons cependant qu'aux environs de Przibrani, vers Zézic et Haté (*Gîtes métall.*, II, p. 572), où l'on avait considéré de semblables filons ferrugineux comme des affleurements de filons de galène, on y est descendu à 30 mètres sans vérifier cette hypothèse.

(\*\*) *Gîtes métallifères*, II, p. 407.

de gypse au Laurium (\*) ; pour le plomb, les grottes au contact du gîte carbonaté d'Eurèka (Nevada), de Bulgar Dag (Taurus), etc. (\*\*). De même pour le fer, à Rancié, on observe, au mur du gisement, des grottes avec un mélange d'argile et de cailloux amoncelés (\*\*\*)).

Sans vouloir aborder ici une description des divers gites de fer, nous sommes porté à croire que, dans nombre de cas, où l'on a cru trouver la trace d'épanchements ferrugineux ayant épousé la forme actuelle du terrain, comme à l'île d'Elbe, à Bilbao, à la Tafna (\*\*\*\*), etc., on a simplement observé des effets de remise en mouvement et de remaniement récents, absolument distincts de la réelle venue ferrugineuse. Nous sommes aujourd'hui très sceptique au sujet de ces prétendus griffons déversant, à la surface du sol, des torrents d'eau ferrugineuse, et nous croyons que les mêmes phénomènes s'expliquent beaucoup plus simplement par le métamorphisme superficiel de gisements anciens, qui peuvent, d'ailleurs, avoir été, suivant les cas, soit des sédiments oxydés, soit des apports filoniens, probablement sulfurés.

**Manganèse.** — Le manganèse est un métal, qui, par certains côtés, se rapproche beaucoup du fer et, par d'autres, s'en éloigne complètement.

Dans les silicates des roches, le manganèse prend souvent, molécule par molécule, la place du fer, comme peut le faire le magnésium ; on le voit intervenir dans la composition des pyroxènes, péridots, etc., et, dans le

(\*) *Gîtes métal.*, II, p. 382. Une visite récente au Laurium nous a conduit, comme on le verra plus loin, à modifier quelques-unes des idées exposées dans ce chapitre.

(\*\*) *Ibid.*, II, p. 635. Voir, sur ces questions de grottes au contact de gîtes métallifères, l'intéressant article de notre ami M. Martel sur la spéléologie dans les *Annales des Mines* de juillet 1896 (p. 70).

(\*\*\*) *Ibid.*, I, p. 688.

(\*\*\*\*) *Ibid.*, I, pp. 810, 796, 817.

curieux gîte de Saint-Marcel, en Piémont, nous avons même pu observer toute la série des minéraux d'un gneiss, chargé d'épidote, mica, amphibole, chlorite, etc., devenus manganésifères (\*). A Dannemora, en Suède, on trouve, dans le Skarn, de l'actinote manganésifère (Dannemorite), un périclase manganésifère (Knébélite), etc. (\*\*).

De même, les magnétites encaissées au milieu des calcaires de Suède, du Canigou, de Mokta el Hadid, sont, très souvent, manganésifères, au point même de tirer de cette richesse en manganèse une valeur spéciale pour la fabrication de l'acier. A Norberg (en Suède), la teneur en protoxyde de manganèse dans la magnétite atteint 10,40 p. 100.

Dans bien des groupes de gisements de fer, présentant le fer à l'état peroxydé, on a également tous les passages, depuis le cas d'un fer légèrement manganésifère, jusqu'à celui d'un manganèse à peine ferrugineux, et c'est ainsi que, dans la province d'Huelva, en Espagne, les amas de bioxyde de manganèse sont en connexion avec les affleurements des amas pyriteux et, dans les Pyrénées, les filons de manganèse sont nombreux à côté des filons ferrifères; ils y prennent même, exactement comme les gîtes de fer, l'allure d'amas carbonatés, quand ils sont encaissés dans les calcaires [las Cabesses, dans l'Ariège (\*\*\*)]:

(\*) *Gîtes métal.*, II, p. 9.

(\*\*) *Ibid.*, I, p. 718.

(\*\*\*) Ce gîte important et des plus curieux, que nous avons eu l'occasion d'étudier en détail, présente une sorte de stockwerk, reconnu sur plus de 100 mètres de haut, dans les calcaires griottes dévoniens, disloqués et broyés, qui ont subi une substitution très irrégulière en carbonate de manganèse, avec décomposition superficielle en pyrolusite. Les analyses des griottes encaissants nous ont donné parfois de faibles teneurs en manganèse, très irrégulièrement réparties. Ces minerais carbonatés (par un phénomène intéressant, qui n'est pas exceptionnel, même dans la région) renferment, en certains points, des traces d'or, et nous ne serions pas surpris quand, en s'approfondissant suffisamment, on trouverait là un filon analogue à ceux des États-Unis ou de la Nouvelle-

ces manganèses carbonatés, jadis considérés comme rares, simplement parce qu'ils passent facilement inaperçus, en raison de leur aspect peu caractéristique, étant, en réalité, beaucoup plus abondants qu'on ne l'a cru longtemps.

Dans ces amas, pour le manganèse comme pour le fer, le carbonate est une forme provisoire, intermédiaire, qui n'a pu se former et subsister qu'à l'abri de l'oxygène de l'air et qui tend toujours à passer à l'état de bioxyde (forme stable, parce que c'est celle qui développe, en se formant, le plus de calories).

La même analogie entre le fer et le manganèse se poursuit dans les gîtes sédimentaires et les gîtes de remaniement superficiels, comme on pouvait aisément

---

Zélande, composé de silicate de manganèse et quartz un peu aurifère, avec peut-être d'autres sulfures métalliques.

Au nord des grands gisements du Laurium, originellement composés de sulfures de fer, plomb et zinc, il existe d'importants dépôts de carbonate de manganèse et de fer, de couleur blanche, mais jaunissant, puis noircissant à l'air, en donnant de la pyrolusite en couches parfois fort épaisses. Ces carbonates forment des couches à la base du calcaire moyen, ou dans le calcaire supérieur. Les zones, à Dascalio, sont alignées N. 23° E., parallèlement à un système de cassures important. Le manganèse contient souvent un peu de galène et de pyrite de fer disséminées, avec des traces de phosphore.

Ces carbonates, qui jouent donc là le même rôle que les calamines plus au sud, ont, par renuise en mouvement, donné des psilomélanes dans des fractures transversales du calcaire. On a même, à Dipsilesa, trouvé, d'après M. Moule, une galerie de grotte horizontale, ayant au moins 150 mètres de long et contenant, sur le sol, un précipité secondaire de boue à 32 p. 100 de manganèse et 16 de fer, avec concentration simultanée du phosphore: le tout en couche horizontale, recouverte d'une croûte stalagmatique de calcaire.

En 1894, lors de notre visite, le Laurium français produisait, par an, 60.000 tonnes de minerai de manganèse légèrement phosphoreux et plombé à 14 ou 17 p. 100; Dascalio à peu près autant. Le tout était exporté en Belgique pour traitement au convertisseur Gilchrist.

Nous ne pensons pas que le carbonate de manganèse joue, dans ces gisements, un rôle analogue à celui du carbonate de chaux, ou du carbonate de magnésie, c'est-à-dire qu'il se soit formé dans la sédimentation même; mais il nous paraît plutôt être en relations avec les grandes formations métallifères voisines.

s'y attendre en raison de la solubilité du bicarbonate, avec cette seule différence que la proportion du manganèse, par rapport au fer, tend toujours à augmenter par suite des remises en mouvement : ce qui amène une abondance particulière des concentrations manganésifères dans les dépôts de surface.

C'est ainsi que l'on connaît, au Caucase, des couches sédimentaires oolithiques de pyrolusite et d'acérodèse, légèrement phosphoreuses, tout à fait assimilables aux gîtes de fer de Meurthe-et-Moselle, et que, dans toutes ces poches argileuses creusées par l'érosion des calcaires, dans le Nassau, etc., ou des serpentines, en Nouvelle-Calédonie, le manganèse est un des métaux que l'on a le plus de chances de rencontrer (\*).

Il s'y trouve généralement associé aux deux corps, dont la fortune est analogue, la barytine et le phosphate de chaux, l'union avec la barytine étant souvent assez intime pour que le minerai principal de manganèse, dans bien des gîtes, soit un manganèse oxydé barytique, la psilomélane (\*\*), contenant jusqu'à 17 BaO pour 69 à 85 Mn<sup>3</sup>O<sup>4</sup>.

Mais, à côté de ces analogies nombreuses, le manganèse présente, avec le fer, une différence fondamentale. Tandis que, pour ce dernier métal, la forme sulfurée domine toujours en profondeur, pour le manganèse, elle n'existe pratiquement pas (\*\*\*), et l'on est forcé d'admettre que le manganèse, quand il n'a pas cristallisé directement en silicate dans les roches, est arrivé : soit, comme on l'admet

(\*) M. Dieulafoy, dans de très nombreuses notes à l'Institut (C. R., t. C et CI, 1885), a beaucoup insisté sur ces remises en mouvement du manganèse. Les combinaisons Mn avec S, avec O, avec CO<sup>2</sup>, avec O<sup>2</sup>, développent respectivement : 22,6 cal. ; 47,4 ; 54,2 ; 58,1 : ce qui explique la prédominance du bioxyde MnO<sup>2</sup>, c'est-à-dire de la pyrolusite.

(\*\*) Voir plus haut, p. 163 à 173, le paragraphe relatif à la barytine.

(\*\*\*) Les sulfures de manganèse, l'alabandine et l'hauérite, ne sont, comme le sulfure complexe d'étain, cuivre, fer et zinc, la stannine, qui représente, pour l'étain, la forme sulfurée, que des raretés minéralogiques.

en général, à l'état de carbonate (\*), réaction qui nous semble restreinte aux remises en mouvement superficielles (\*\*); soit plutôt en liqueur acide, par exemple à l'état de chlorure et de fluorure, idée qui pourra surprendre un peu, mais que nous croyons justifiée par de nombreuses observations et sur laquelle nous allons bientôt insister. Le manganèse, par là, se rapprocherait de ces trois autres métaux, également connus surtout à l'état de bioxydes, le silicium, le titane et l'étain, et peut-être aussi de l'or, avec lequel on le trouve souvent associé (\*\*\*)).

En dehors des gîtes de manganèse carbonaté, le manganèse, dans ses filons, présente une association presque constante avec la silice. Dans la plupart des cas, nous l'avons vu accompagné par des quartz jaspés, rouges ou jaunâtres, très caractéristiques, avec lesquels on le retrouve, parfois même, dans les amas superposés aux calcaires [Roquefort (Alpes-Maritimes); Nontron (Dordogne), etc.], et, en outre, à mesure que les observations se multiplient, on connaît des exemples de plus en plus nombreux de silicates de manganèse proprement dits, silicates qui présentent souvent cette particularité d'être riches en métaux précieux, or ou argent.

(\*) La théorie, habituellement professée, pour les carbonates de fer et de manganèse, depuis Boussingault, c'est que des eaux, chargées de bicarbonate, les ont déposés, par dégagement de leur acide carbonique en excès, au voisinage de la surface. On oublie, comme dans toutes les théories semblables, que l'érosion a fait disparaître, presque toujours, ce qui était la partie superficielle au moment du dépôt des filons. En outre, le fait le plus caractéristique des gisements de manganèse, c'est l'association de ce métal avec la silice.

(\*\*) Les remises en mouvement jouent, pour le manganèse, un rôle très considérable et ont dû former ces gîtes très nombreux, où on le voit disparaître en profondeur. Dans les dépôts de haute mer, on sait que le manganèse est un des corps les plus caractéristiques (boues à globigérines et argiles des mers profondes) (WILL. THOMSON, *Expéd. du « Challenger »*).

(\*\*\*) La stibine, souvent associée à l'or (Reefon, en Nouvelle-Zélande; Gravelotte, au Transvaal, etc.), forme une transition entre les gîtes du type stannifère et les gîtes sulfurés.

Tel est le cas, en Nouvelle-Zélande, district de Thames, pour le filon City of Dunedin de la mine Tararu (\*), où la rhodonite forme, dans un filon puissant de quartz, des noyaux ou des trainées, contenant elles-mêmes de l'or très finement divisé avec un peu de galène.

Dans le Montana (\*\*), région de Butte-City, nous avons déjà rappelé plus haut comment il existait à Lexington, Moulton, Alice, une série de filons de rhodonite argentifère, formant des zones alternatives avec du quartz, de la blende, et, plus rarement, d'autres sulfures.

On a, d'ailleurs, dans les Pyrénées, fait quelques tentatives d'exploitation à Germ, Loudervielle, etc. (\*\*\*), sur des bancs de silicates de manganèse, rhodonite et friédélite, avec quartz et un peu de rutile et d'apatite.

L'origine fluorée de ces silicates semblerait assez confirmée par la présence de fluorine dans certains gites de manganèse, notamment à Romanèche.

Nous croirions donc volontiers que le manganèse était, avec le silicium, en dissolution dans une liqueur acide (\*\*\*\*), d'où ces deux métaux se sont précipités simultanément. Ces silicates de manganèse hydrothermaux, avec ceux englobés dans la cristallisation même des roches, seraient alors la source première, d'où dériveraient, par remise en mouvement superficielle, tous les gites oxydés (pyrolusite, psilomélane), qui sont innombrables à la surface du sol. Le carbonate a pu également se produire aisément par altération du silicate, en présence de l'acide carbonique de

(\*) Renseignements inédits, recueillis par M. Gascuel (Voir École des Mines, coll. 2013).

(\*\*) *Gîtes métallifères*, I, p. 809; — Cf. KEMP, *Ore deposits*, p. 220. Nous avons rapproché précédemment, de ces manganèses argentifères, ceux associés aux barytines argentifères de Milo.

(\*\*\*) *Ibid.*, II, p. 11; — voir, dans *l'Argent*, p. 59, d'autres exemples analogues.

(\*\*\*\*) On sait comment le chlorure de manganèse est produit en grand dans la fabrication du chlore et des chlorures.

l'air ou des calcaires, et l'on doit même admettre que le manganèse a dû passer par l'état de carbonate, avant de se reprécipiter en bioxyde.

Nous n'insistons pas sur ces concentrations superficielles de manganèse, que nous avons déjà rappelées précédemment, quand nous nous sommes occupé de généralités (\*); chacun sait avec quelle facilité le manganèse se déplace et se concentre dans les terrains superficiels, sur les parois des roches où il forme des dendrites, dans les limons où il se précipite en petites boules, dans les argiles remplissant les crevasses des calcaires du Nassau, des Alpes-Maritimes, etc.

**Cuivre.** — Le cuivre est géologiquement à rapprocher du nickel, avec lequel il se rencontre fréquemment, notamment dans les péridotites du Canada; car c'est, comme lui, avant tout, un métal des roches basiques, dont les principaux gisements sont des gites de départ immédiat, concentrés, sous une forme sulfurée, à la périphérie des roches mères. Mais, plus soluble, plus mobile et plus facile à remettre en mouvement, il lui est arrivé de s'écarter davantage de son point de départ, en sorte qu'on le trouve, comme le groupe de métaux: fer, zinc, plomb, argent, etc.; dont nous parlerons bientôt, sous forme de filons concrétionnés et qu'il constitue également quelques gites sédimentaires de précipitation chimique, absolument typiques.

D'autre part, on doit noter, entre le cuivre et l'étain, une certaine association, qui n'est pas, à notre avis, dans le Cornwall, aussi accidentelle qu'on l'a parfois prétendu (\*\*).

(\*) Cf. DAUBRÉE, *Eaux souterraines anciennes*, p. 98.

(\*\*) Nous venons déjà d'étudier, dans le manganèse, un métal présentant des propriétés intermédiaires entre le groupe du fer et le groupe de l'étain.

Ainsi que l'a remarqué M. Vogt (\*), on peut rattacher au type stannifère :

1° Les gîtes d'étain proprement dits, type Saxon, Villeder, Montebas ;

2° Les gîtes d'étain et de cuivre, type Cornwall, ou d'étain avec galène argentifère (sulfure d'étain exceptionnel), minéraux d'argent, etc., de Bolivie (\*\*);

3° Les gîtes de cuivre avec tourmaline, apatite, fluorine, quartz et or natif, dans la granulite du Telemark (\*\*\*) ; celui de Tamaya ou de Remolinos, au Chili (\*\*\*\*), également avec quartz, tourmaline et un peu d'or, etc.

C'est là un exemple du double mode de venue, que l'on rencontre pour plusieurs métaux et, notamment, pour l'or, dont le cuivre contient si fréquemment des traces : d'une part, en association intime avec des roches basiques, sous forme de gîtes d'inclusions, de ségrégation, ou de départ immédiat ; d'autre part, en relation avec les roches acides, dans les filons, où des minéralisateurs, y compris le fluor, ont joué un rôle prépondérant.

La forme profonde des minerais de cuivre est, le plus souvent, la chalcopryrite, ou la pyrite de fer cuivreuse ; mais, au voisinage de la surface, les sulfures ont souvent subi des altérations, qui peuvent se présenter sous deux formes :

En premier lieu, à la surface même, une oxydation, ayant donné, outre un chapeau d'oxyde de fer, des oxydes, carbonates, etc., accompagnés parfois de cuivre natif, souvent avec remise en mouvement et intervention restreinte des terrains calcaires ;

En second lieu, un peu plus profondément, une sorte de

(\*) Zur Classification der Erzvorkommen (*Zeitsch. für praktische Geologie*, avril 1895, p. 153).

(\*\*) STELZNER, *Zeitsch. f. prakt. Geol.*, 1893, p. 81, 394.

(\*\*\*) *Gîtes métall.*, II, p. 272.

(\*\*\*\*) *Z. d. Deutsch. geol. Gesellsch.*, 1887.

cémentation ayant, sur des nodules cuprifères, produit, après une première croûte appauvrie, une zone d'enrichissement.

Comme exemple des premières réactions, nous citerons le gîte de Mednoroudiansk, près Nijni Taguil, dans l'Oural (\*).

Il existe là, au contact de la syénite, un filon de magnétite et de chalcopryrite, dont l'altération superficielle, favorisée par la présence de calcaires siluriens, a donné, en même temps que de l'hématite, des oxydes, carbonates, silicates et phosphates de cuivre. On a, en particulier, exploité, dans ces calcaires, une grande poche de dissolution de 120 mètres de large (\*\*), pleine d'argile rouge empâtant des blocs de malachite, azurite, etc., et où l'on rencontre également de la calamine, ainsi que des oxydes noirs de cobalt et de manganèse, analogues à ceux de la Nouvelle-Calédonie.

Dans l'Arizona, de grands filons de chalcopryrite quartzeuse, au contact de l'andésite amphibolique et du calcaire, contiennent, près des affleurements, des oxydes et carbonates de cuivre, avec oxyde de fer, dans une argile de décomposition.

Les larges filons de Burra-Burra, en Australie, ont présenté, de même : à la surface, du fer hydroxydé ; puis des cuprites, malachites, azurites, atacamites et cuivre natif ; plus bas, de la phillipsite ; enfin de la chalcopryrite à gangue quartzeuse.

Ailleurs, comme au Chili, ces affleurements cuivreux renfermaient souvent, avec les carbonates et silicates, des sels chlorurés ; parfois des matières pulvérulentes de couleur foncée, avec fines particules de phillipsite et, sur cette

(\*) *Gîtes métallifères*, II, p. 245 à 252.

(\*\*) Comme preuve de cette dissolution, on peut remarquer que l'oxyde rouge contient des fossiles du calcaire, ayant résisté à la dissolution.

phillipsite, accidentellement, des houppes d'or natif, cristallisées pendant la remise en mouvement.

Le cuivre natif se produit aisément dans le même phénomène, quand les sels cuivreux rencontrent des matières réductrices : on en trouve, aux affleurements des gîtes de la province d'Huelva, dans les fissures des roches encaissantes et jusque sur les bois de mine antiques (\*).

En dehors de cette formation d'oxydes et de carbonates, l'action d'altération superficielle est caractérisée, pour les minerais de cuivre, par des transformations et par une cémentation, dont M. Daubrée a pu observer la reproduction artificielle sur les médailles de bronze, restées, depuis l'antiquité, en contact avec les sources de Plombières ou de Bourbonne-les-Bains : médailles qui ont présenté : cuivre, chalcosine, phillipsite et chalcopyrite.

Généralement, la chalcopyrite et la pyrite de fer cuivreuse se transforment alors en phillipsite, chalcosine (\*\*), cuprite et cuivre gris, que l'on doit, lorsqu'on les rencontre à l'affleurement d'un gîte cuivreux, considérer comme une forme provisoire et superficielle, destinée à disparaître en profondeur. L'arsenic, l'antimoine, le phosphore, dispersés en profondeur, se sont concentrés sur le cuivre, comme ils le font pour l'argent (argent rouge et argent noir superficiels), et même pour le plomb (mimétèse, pyromorphite).

En même temps, le fer s'est isolé sous forme d'un chapeau d'oxyde de fer, plus ou moins épais, qui recouvre constamment les affleurements de filons sulfurés, et les métaux précieux, or et argent, dont le cuivre contient d'habitude de faibles traces, s'y sont concentrés de manière à donner parfois des cuivres gris fortement argentifères,

(\*) Nous renvoyons, pour le cuivre natif du Lac Supérieur, à ce que nous avons dit de ces gisements, p. 163, à l'occasion des zéolites.

(\*\*) Pour passer de la chalcopyrite  $\text{Cu}^2\text{Fe}^2\text{S}^4$  à la chalcosine  $\text{Cu}^2\text{S}$ , il suffit de perdre le fer sulfuré  $\text{Fe}^2\text{S}^2$ ; on arrive de même à la covellite  $\text{CuS}$ .

ou même des cristaux d'or natif, comme ceux que nous signalions tout à l'heure dans la phillipsite.

Dans le gisement de Monte Catini, en Toscane (\*), cette cémentation s'observe presque aussi aisément que sur les médailles de Bourbonne. On trouve, en effet, dans la serpentine, des boules de fort diamètre contenant, du centre à la périphérie : pyrite de cuivre, cuivre panaché, enfin chalcosine et cuivre natif, tandis que des boules plus petites sont toutes transformées en cuivre panaché et chalcosine, certaines même exclusivement en chalcosine. Le même ordre de succession s'observe en gros, quand on examine la coupe du gisement, de la profondeur à la surface.

Dans les gîtes de Rio Tinto et de San Domingos en Espagne (\*\*), les grands amas de pyrite de fer cuivreuse à 3 ou 4 p. 100 de cuivre contiennent des veines secondaires, formées de phillipsite et de chalcosine à 10 ou 20 p. 100, que les anciens ont tout particulièrement recherchées. C'est, d'ailleurs, un fait bien connu que le caractère précaire des gîtes de cuivre gris, à gangue de sidérose (\*\*\*), souvent très argentifères, qui, en profondeur, se transforment en pyrites de cuivre et de fer, beaucoup plus pauvres (\*\*\*\*) (Sierra Nevada, Mousaïa, Bosnie, Mexique, etc.). Par une réaction du même genre, divers filons cuivreux de la région de Butte City, au Montana, formés en profondeur de chalcopyrite à 8 ou 9 p. 100 de cuivre, présentaient, à la surface, du sulfure noir de cuivre (mattite) à 14 ou 16 p. 100 (\*\*\*\*\*).

(\*) *Gîtes métallif.*, II, p. 238.

(\*\*) *Ibid.*, p. 296 à 302.

(\*\*\*) *Ibid.*, p. 304.

(\*\*\*\*) Le cuivre gris est fréquemment accompagné de barytine, que nous avons appris à considérer comme une gangue généralement superficielle et qui disparaît pour faire place au quartz, quand on arrive à la chalcopyrite.

(\*\*\*\*\*) *Ibid.*, II, p. 265.

Zinc. — Pour le zinc, l'étude que nous avons pu faire sur place, depuis dix ans, de la plupart des gisements européens, en Sardaigne, en Silésie, en Grèce, en Suède, en France et en Algérie, nous a conduit à des conclusions particulièrement nettes au sujet de ces remises en mouvement, qui font l'objet principal de ce mémoire (\*), et c'est pourquoi nous nous y arrêterons un peu plus longuement.

Le zinc, qui ne joue à l'état d'inclusions qu'un rôle assez insignifiant et surtout théorique, s'est toujours séparé des roches mères (assez difficiles à déterminer dans la majeure partie des cas), sous la forme d'un sulfure, associé, en proportion plus ou moins forte, aux deux autres sulfures de fer et de plomb, dans un groupement caractéristique : blende, pyrite, galène, qu'on peut appeler, pour simplifier le langage, les B. P. G. Tantôt l'un de ces trois sulfures domine, tantôt l'autre, jusqu'à former, à lui seul, le remplissage pratiquement utilisable de toute une portion de gîte; mais l'association entre eux est tellement intime et naturelle que, dans le même filon, il arrive constamment de voir, sans aucune loi, et aussi bien en direction qu'en profondeur, le remplissage principal passer de la galène à la blende, ou à la pyrite, et réciproquement.

C'est sur des dépôts primitivement sulfurés, qu'ont porté les altérations superficielles récentes, par l'effet desquelles les B. P. G. se sont oxydés, dissous, remis en mouvement, et finalement séparés suivant leur solubilité,

(\*) Nous insisterons spécialement ici sur deux gisements, que nous avons visités depuis la publication de notre ouvrage sur les *Gîtes Métallifères*, et dont nous n'avons pas encore eu l'occasion de donner une description personnelle : le Laurium en Grèce et les Malines dans le Gard.

Nous avons parcouru (malheureusement un peu vite) la concession du Laurium (Kamaresa, Plaka), en 1894, avec M. Moulle, qui en était le directeur, et qui a bien voulu nous faire profiter de ses observations. Aux Malines (en 1895), nous avons également profité des obligeants renseignements de M. Auzépy.

avec des résultats très différents suivant la nature des roches encaissantes : effets n'ayant réellement atteint leur maximum d'intensité que lorsque ces roches étaient calcaires et pouvaient, par suite, fournir aux eaux altérantes un excès d'acide carbonique, capable d'amener la transformation du zinc, du fer, et, plus rarement, du plomb, en carbonate.

Dans ces calcaires, la transformation en carbonate de zinc (comme celles en carbonate de fer ou de manganèse, précédemment étudiées) a constamment suivi le réseau des fissures antérieures de la roche et pénétré, à partir de là, par porosité dans la masse.

L'origine superficielle et récente des minerais carbonatés de ces trois métaux, toujours exclusivement concentrés dans les calcaires (\*), est suffisamment démontrée par la façon dont les sulfures y augmentent peu à peu avec la profondeur et deviennent dominants, lorsqu'on passe au-dessous du niveau hydrostatique. Comme, en dépassant ce niveau hydrostatique, on est, en outre, exposé, dans les calcaires souvent très fissurés, où se trouvent les amas calaminaires, à d'importantes venues d'eau, il en résulte une double raison pour que l'exploitation industrielle des gisements s'arrête, presque toujours, à ce niveau, et pour que la forme sulfurée profonde des gisements calaminaires ait passé inaperçue dans la plupart des cas.

Ce métamorphisme, qui transformait des sulfures en carbonates, a eu pour corollaire la production assez fréquente de cristaux de gypse (moins abondants qu'ils ne devraient l'être, à cause de leur facile redissolution), et la circulation des eaux a creusé, au voisinage des gisements,

(\*) Pour le zinc seul, dont le carbonate est la forme stable, on trouve, aux affleurements de presque tous les filons blendeux, même lorsqu'ils sont encaissés dans les schistes, du carbonate, alors simplement produit par l'acide carbonique de l'air.

de très nombreuses grottes, dans lesquelles, par remise en mouvement, se sont souvent formés de ces cristaux de gypse, en même temps que se précipitaient des enduits calaminaires.

Il faut, d'ailleurs, ajouter que les trois sulfures de zinc, fer et plomb se sont comportés différemment dans ces réactions (\*). Le zinc est, en majeure partie, resté en place à l'état de carbonate; le fer a été beaucoup plus déplacé, souvent même à grande distance: une portion seulement s'est métamorphosée sur place en carbonate (gîtes des Pyrénées), ou reprécipitée un peu plus loin en sidérose (Carthagène, Laurium); mais la majeure partie du fer déplacé s'est précipitée sous sa forme réellement définitive, en peroxyde. Enfin le plomb a résisté davantage et est souvent resté à l'état de galène, bien qu'on puisse citer des exemples de grands gisements de plomb, entièrement transformés en carbonates.

D'une façon générale, comme il était aisé de s'y attendre, il y a eu, dans cette zone superficielle et altérée, disparition d'une partie des métaux, toutes les fois qu'ils n'ont pas été fixés sur place par les calcaires encaissants, sous la forme, au contraire plus avantageuse, des carbonates.

Quand on observe des filons de galène ou de pyrite à leurs affleurements, on remarque par suite, constamment, que ces sulfures ont complètement disparu et l'on y voit uniquement le quartz, qui constitue leur gangue en profondeur, avec une certaine proportion d'argile, ou de boue, chargée d'efflorescences sulfatées.

Nous citerons simplement, à ce propos, les filons de quartz et galène de Flaviac, près de Privas, dans le Gard, perforés de nombreux travaux antiques et où la Société

(\*) Voir, sur ces questions, notre ouvrage *l'Argent*: p. 17 (Solubilités des sulfates de fer, zinc, cuivre et argent) et p. 64 à 74 (Variations des filons en profondeur).

de la Vieille-Montagne a fait quelques recherches. Ces filons, exclusivement quartzeux aux affleurements, ont été assez chargés de plomb en profondeur pour que les anciens les aient exploités jusqu'à 65 mètres au-dessous du niveau hydrostatique.

Par une remarque déjà faite antérieurement, le facteur temps joue, dans ces actions de métamorphisme, un rôle très considérable: ce n'est qu'avec une extrême lenteur et très progressivement que se sont produites ces substitutions et ces dissolutions dans l'intérieur de masses calcaires, et il arrive très souvent, dans un gisement qu'on étudie, que la période géologique depuis laquelle le niveau hydrostatique actuel est constitué, n'ait pas duré assez longtemps pour avoir permis aux réactions d'atteindre leur forme définitive.

En raison même de cette influence du temps, suivant la compacité des roches, leur silicification, leur degré de fissuration, l'altitude du point considéré au-dessus du plan d'eau, le régime météorologique de la contrée, etc., les résultats pourront être tout à fait différents.

Les phénomènes que l'on observe, par exemple, au *Laurium*, près d'Athènes, sont beaucoup plus complexes, et d'une interprétation beaucoup plus difficile qu'on ne pourrait le supposer d'après les descriptions anciennes.

Comme le montrent la carte géologique et les coupes de l'Attique publiées par Lepsius en 1893, il existe, dans cette région, un massif de terrains anciens métamorphiques, formés d'alternances de calcaires marmoréens, parfois dolomitiques et de schistes micacés (schistes de *Kæsariani*), que surmontent, en discordance, les terrains crétacés d'Athènes, de l'Acropole et du Lycabette (\*).

(\*) RICHARD LEPSIUS, *Geologie von Attika, Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine*. Berlin, 1893, 1 vol. in-4° de 146 p., avec carte géologique de l'Attique au 1/25.000, et *Griechische Marmorstudien*, 1890. *Abh. der preuss. Akad. Wiss.* — Cf. *Gîtes métall.*, II, p. 375 à 387.—

Ces terrains primaires, où sont exclusivement concentrés les gîtes métallifères et dont la nature chimique variable a eu, sur leur mode de dépôt, une influence prépondérante, ont subi un mouvement de plissement et de dislocation très prononcé, qui a produit, notamment, à l'ouest, une grande faille N.N.E.-S.S.O., à laquelle s'arrêtent les travaux (\*) : faille, par endroits, réduite à un simple pli,

Nous avons été heureux de voir que M. Lepsius avait été conduit, contrairement à l'opinion des géologues autrichiens, à la même conclusion que nous avaient suggérée nos propres études sur les îles de la Mer Egée (*Arch. des Missions scientif.*, 3<sup>e</sup> sér., t. XVI, 1890, p. 21), à savoir qu'il y avait lieu de distinguer des calcaires crétacés, métamorphiques, les marbres plus anciens du Pentélique, de Paros (et de Mételin, Thasos, etc.), faisant partie d'une série primaire. A Paros, Naxos et Seriphos, il a trouvé les marbres intercalés dans de véritables gneiss, qui doivent, il est vrai, résulter eux-mêmes du métamorphisme de sédiments anciens, mais de sédiments primaires.

En Attique, les terrains crétacés, disloqués et érodés, laissent apparaître trois zones de terrains primaires (*krySTALLINE Grundgebirge*), sur lesquels ils reposent en discordance : celles du Pentélique, de l'Hymette et du Laurium. Le nom des schistes de Kæsariani vient du couvent de Kæsariani, au nord de l'Hymette.

Sans vouloir faire ici une description détaillée des terrains du Laurium, rappelons que l'on a, de haut en bas, les alternances de calcaire et de schiste C<sub>1</sub>, S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, avec le premier contact entre S<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> ; le deuxième, entre C<sub>2</sub> et S<sub>2</sub> ; le troisième, entre S<sub>2</sub> et C<sub>3</sub>. A Kamaresa, on a les schistes S<sub>2</sub> sur une épaisseur de 80 mètres, au-dessus de la cote 96 et, à leur base, le troisième contact, qui forme là le principal champ d'exploitation : les travaux s'arrêtent, au fond du puits Serpieri, à 5 mètres au-dessous de la mer ; mais un sondage a reconnu la persistance des calcaires C<sub>3</sub> jusqu'à 200 mètres au-dessous de la mer. Ce calcaire devient très magnésien en profondeur, jusqu'à passer à la dolomie théorique.

Les schistes S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> sont ceux que M. Lepsius a appelés schistes de Kæsariani. Les calcaires C<sub>3</sub> sont, pour lui, le marbre inférieur (*loc. cit.*, p. 65). Le calcaire C<sub>2</sub>, dont l'épaisseur est très variable (30 mètres au puits Serpieri) et qui fait complètement défaut dans un puits situé à 500 mètres à l'ouest de Kamaresa, est considéré comme un niveau adventif, analogue à ceux que l'on observe dans l'Hymette. C<sub>1</sub> est le marbre supérieur.

(\*) Cet accident a été suivi souterrainement par une galerie de direction de 4 kilomètres, sans qu'on ait songé à aller voir, par une recoupe, ce qui pouvait exister au delà. Dans ces dernières années, seulement, un travers-bancs, tenté ainsi dans le sud, est allé tomber dans des schistes.

ailleurs, au contraire, très nette comme dislocation et remplie de fragments roulés.

A ces plissements, qui ont affecté le crétacé (\*), se rattachent, sans doute, toute une série de cassures, soit N.N.E., soit perpendiculaires, qui découpent l'ensemble de ces terrains, mais surtout les calcaires. Ces cassures ont été suivies : d'une part, par des filons E.O., avec pendage nord, d'un granite à grain fin, sans mica blanc, mais avec quartz bipyramidé, qu'on appelle localement de l'eurite (\*\*) et qui se rattache à un grand massif de même roche situé au nord, près de Plaka (\*\*\*) ; puis, par des imprégnations métallifères à sulfures complexes et, en dernier lieu, par les eaux superficielles, qui, en altérant les gisements, ont si fortement contribué à leur allure actuelle (\*\*\*\*).

En outre des granites, la région présente de nombreux

(\*) LEPSIUS, *loc. cit.*, p. 75.

(\*\*) Les galeries de mines suivent souvent ces eurites, qui sont plus résistantes et ont amené une métallisation au contact. Il existe, à Kamaresa, plus de 70 kilomètres de galeries, dont 35 inaccessibles ; à Plaka, 30 ou 40.

(\*\*\*) Le granite de Plaka (Coll. *École des Mines*, 1681-15 à 18 ; — voir LEPSIUS, *loc. cit.*, pp. 72 et 88) est un granite à grain fin, de type légèrement microgranitique, formé d'orthose, quartz en cristaux isolés, riche en inclusions liquides et biotite abondant. Il en dérive un certain nombre de filons et d'apophyses (Coll. *École des Mines*, 1681-19 à 21) (cinq ou six dans les seuls travaux de Kamaresa) : le plus souvent des granolites à grain fin ; parfois des microgranites avec quartz bipyramidés, qui n'ont exercé aucun métamorphisme sur le marbre traversé par eux, mais ont parfois injecté les schistes. Certaines de ces apophyses, en particulier des eurites de Kamaresa, sont amphiboliques. Les analyses (voir LEPSIUS, *loc. cit.*, p. 93) y ont souvent trouvé du zinc : jusqu'à 2 p. 100 dans un échantillon frais provenant de la mine de Kamaresa, et ne contenant pas de sulfures. La même roche ne contenait pas de plomb et les apophyses semblables, en dehors de la mine, ne renfermaient ni zinc ni plomb : ce qui ne nous permet guère d'adopter l'idée de M. Lepsius (*loc. cit.*, p. 72 et 76), d'après lequel les sulfures auraient été apportés par cette eurite.

(\*\*\*\*) Pour M. Lepsius, ces granites (d'un type déjà granulitique) seraient plus récents que les schistes crétacés d'Athènes.

massifs de gabbros, parfois à olivine, souvent serpentinisés, qui recourent même le crétacé (\*).

Les gîtes métallifères sont nombreux et de grande importance : du nord au sud, on distingue : la région du Dhaskalio, riche en fer et en manganèse ; puis les deux groupes de Plaka et de Kamaresa (\*\*), qui constituent les exploitations du Laurium français (\*\*\*) ; enfin le cap Sunium, où des minerais analogues, sur lesquels on a tenté quelques recherches, passent rapidement au-dessous du niveau de la mer, que, dans ces calcaires fissurés, il est impossible de franchir.

Les minerais sont formés de sulfures complexes de zinc, fer et plomb, B. P. G., légèrement arsenicaux.

Au Laurium proprement dit, les travaux antiques, qui ont eu un développement très considérable, avaient porté exclusivement sur les minerais altérés oxydés, d'un traitement plus facile, qu'ils ont à peu près complètement épuisés ; les anciens s'étaient attaqués surtout à des masses de galène argentifère situées principalement au contact des schistes  $S_2$  avec le calcaire inférieur  $C_3$  (troisième contact), et également à ce que l'on appelle le contact subordonné, ou couche Clémence, entre deux schistes  $S_2$  de nature différente. Quand on a repris les exploitations, en 1876, on s'est, d'abord, occupé, presque exclusivement, de la calamine, qui, négligée par les anciens, formait de grands amas d'origine secondaire. Actuellement, la calamine s'épuise, et la mine redevient, avant tout, une mine

(\*) Coll. *École des Mines*, 1681-12 à 14.

(\*\*) Plaka est à 270 mètres d'altitude ; Kamaresa entre 140 et 180 mètres.

(\*\*\*) Le centre des mines du Laurium est Ergastiria.

On sait qu'il existe une autre Société, dite du Laurium grec, qui est une société métallurgique, à laquelle appartient, des gisements antiques. « tout ce qui a vu le jour », c'est-à-dire principalement les résidus de laveries, appelés les *ekvolades* et quelques restes de scories, que l'on retire de la mer par un dragage.

de galène argentifère : sur les deux districts de Kamaresa et de Plaka, qui divisent la concession, le premier seul produit encore environ 35.000 tonnes de calamine, tandis que la production de plomb atteint 8 à 9.000 tonnes (\*).

Le gisement de profondeur, que l'on a atteint dans ces dernières années, est un gîte sulfuré formé des trois sulfures B. P. G. (\*\*), tellement complexe que l'on trie, dans la mine, quatorze sortes de minerais et que l'une des grandes difficultés du traitement consiste dans la perfection à laquelle il serait nécessaire de porter la préparation mécanique. Par une association, qui est fréquente dans les gîtes de plomb et, spécialement, ce semble, dans les gîtes très argentifères (Sarrabus en Sardaigne, etc.), la fluorine est assez abondante (\*\*\*) ; elle accompagne souvent des minerais à forte teneur en argent (jusqu'à 4 et 5 kilogrammes d'argent à la tonne de plomb), la richesse en argent paraissant même souvent indépendante de la teneur en galène, comme si l'argent était directement associé à la fluorine.

(\*) Les minerais restants sont abondants, mais généralement pauvres. A Plaka, où l'on a les massifs les plus intacts, la teneur moyenne est de 10,50 de plomb, 11,50 de zinc, et le reste de fer, avec 700 grammes d'argent à la tonne de plomb.

On a à peu près cessé au Laurium de produire de la blende (1.200 tonnes en 1893). Signalons, dans les minerais, une proportion d'arsenic assez forte pour que le Laurium soit devenu un producteur important de cette substance : environ 1.500 tonnes de fumées arsenicales à 48 p. 100, vendues principalement aux fabriques de couleurs anglaises.

Nous avons dit, plus haut, p. 187, qu'en 1894 on avait, en outre, extrait 60.000 tonnes de minerais de manganèse à 16 ou 18 p. 100. Cette association du zinc avec le manganèse est un fait assez fréquent ; on la retrouve notamment à Monteponi, en Sardaigne (*Gîtes métall.*, II, 403).

Un peu de cuivre apparaît généralement au voisinage des eurites.

(\*\*) Coll. *École des Mines*, 1681-38 à 40.

(\*\*\*) Depuis quelques années, elle augmente très sensiblement de proportion, et l'on a cru remarquer que, dans les régions chargées de fluorures, les roches présentaient un air de sécheresse très spécial. Au sud et au sud-est notamment, il y a toute une région fluorée qui n'avait pas été touchée des anciens ; la région centrale est celle des minerais sulfurés ; la région nord, celle des carbonates de manganèse.

L'allure de ces minerais primitifs B. P. G s'est trouvée tellement troublée par les remises en mouvement postérieures, dont nous parlerons bientôt, qu'on n'est pas arrivé, jusqu'ici, à une explication tout à fait satisfaisante des conditions de leur dépôt.

D'après les observations faites par les ingénieurs de la mine (\*), voici quels sont les principaux résultats acquis.

La minéralisation change de nature suivant les districts : au centre, dominant les sulfures ; au sud et au sud-est, les fluorures ; au nord, les minerais manganésifères.

Les sulfures, accompagnés ou non de fluorine, remplissent :

D'une part, des amas importants : 1° au *contact* des calcaires et des schistes, soit au-dessus, soit au-dessous des calcaires (2° contact exploité à Plaka ; 3° contact et contact subordonné, ou couche Clémence, à Camaresa) ;

Et, d'autre part, une série de fractures, dirigées N. 45° O., qu'on appelle fort improprement des *croiseurs*.

Les contacts ne présentent, en aucune façon, une couche continue et régulière comme pourrait l'être un gîte sédimentaire contemporain du dépôt, mais, au contraire, des remplissages, irrégulièrement épais, de zones de fracture et de brouillage ; et, depuis longtemps, on a été amené à l'hypothèse qu'ils étaient le résultat d'une ou plusieurs infiltrations postérieures, ayant circulé principalement dans les plans de joint de roches d'inégale résistance, entre les calcaires et les schistes, entre les calcaires et l'eurite, etc.

Leur épaisseur ordinaire ne dépasse guère 3 à 5 mètres, bien qu'on ait trouvé à Plaka (dont l'exploitation a été commencée seulement en 1886) des masses de sulfures compacts, malheureusement très complexes et difficiles

(\*) En outre du directeur, M. Moule, ses ingénieurs divisionnaires, MM. Peffau et Doche, ont bien voulu nous faire profiter de leurs remarques.

à séparer les uns des autres, atteignant 18 mètres de haut.

La minéralisation, plus ou moins épaisse, des contacts dépend, en somme, directement de la présence des croiseurs, ou diaclases minéralisées, qui, parfois, comme dans la région Isabelle, forment, dans le calcaire, deux groupes distincts, inclinés en sens inverse comme les faces d'un toit et donnant des intersections horizontales très multipliées : par suite, une zone de broyage très intense, sur 8 ou 10 mètres de haut.

Ces croiseurs, qu'il est impossible de considérer comme de véritables filons, car ils ne descendent jamais à plus de 15 mètres de profondeur au-dessous du calcaire marbre, peuvent être suivis, en certains points, sur plusieurs kilomètres de long et passent même parfois, sans déviation, du calcaire au schiste ; dans la région Clémence, on a exploité leur minéralisation, dans les schistes, à l'intersection de lits calcaires adventifs, où s'étaient produits des sortes de tuyaux horizontaux minéralisés, dans lesquels les anciens avaient déjà pénétré.

Le remplissage des croiseurs, variable suivant les points, est, dans la région N.E. de Kamaresa, dite Isabelle, exclusivement formé de galène riche (à 2 ou 3 kilogrammes d'argent par tonne de plomb) sans blende ; dans la région Serpieri, il comprend les trois sulfures B. P. G. ; mais là il faut remarquer que ces croiseurs ne sont minéralisés qu'à la rencontre d'autres cassures, appelées griffons, dont nous allons parler (\*) : fait très singulier, qui avait fait croire autrefois, d'une façon certainement inexacte, que ces griffons représentaient les chenaux d'arrivée des émanations métallifères.

(\*) C'est un fait constant dans les gites métallifères que l'enrichissement aux intersections de fractures, qui constituent des colonnes de moindre pression pour les eaux.

Ces *griffons* sont des fractures du calcaire, à peu près perpendiculaires aux croiseurs, c'est-à-dire N.E., qui rejettent souvent très nettement les croiseurs d'environ 1 mètre suivant la verticale et qui correspondent donc à un mouvement du sol postérieur à la minéralisation. Une remise en mouvement secondaire, que nous étudierons bientôt, y a déposé de la calamine, très visiblement apportée par en haut (car on retrouve parfois, au-dessous du remplissage, la fissure restée vide) et résultant de l'altération des blendes voisines, comme on en a la preuve, notamment, en constatant que ces griffons, chargés de calamine et d'oxyde de fer dans la région Serpieri, où les sulfures sont des B. P. G., deviennent stériles dans la région Isabelle, où il n'y a que de la galène, qui s'altère difficilement.

Sans se dissimuler que toute tentative d'explication de ces gisements complexes présente de grandes difficultés de détail, on peut supposer que le plissement postcrétacé, qui a disloqué les terrains et provoqué les venues de granite et celles de gabbro, a été suivi par des venues hydrothermales filoniennes, chargées de sulfures divers, dont l'infiltration, suivant les plans de joint et cassures de terrains, peut-être avec actions de dissolution et de substitution dans les calcaires, a produit les gisements primitifs (\*).

L'altération superficielle a présenté, dans la suite, sur

(\*) On a souvent l'occasion de constater de ces intrusions postérieures, assez difficiles à concevoir en détail. C'est ainsi que des couches de silice se sont formées dans le bassin parisien, longtemps après le dépôt des couches encaissantes. Dans le permien, le trias et même le lias, sur la périphérie du Plateau Central, de la silice, accompagnée de galène, barytine et fluorine, a souvent pénétré en grande abondance dans des bancs, où elle a incrusté des fossiles : ce qui est la preuve bien nette qu'elle n'y est pas contemporaine du dépôt (*Gîtes métall.*, II, p. 516, sur Chabrignac, Avallon, Chitry, etc.). On peut se demander si, dans un cas comme celui du Laurium, les eaux filoniennes n'ont pas, avant de déposer le minerai, commencé par élargir les fractures et creuser, dans le calcaire, de véritables grottes, qu'elles ont remplies ensuite.

ces gisements de sulfures encaissés dans des calcaires fissurés et largement perméables aux eaux oxydantes de la surface, une remarquable intensité. Les phénomènes produits ont, d'ailleurs, été ceux que nous avons déjà eu l'occasion d'étudier et de décrire ailleurs, en Silésie, en Sardaigne, etc. (\*), c'est-à-dire que la blende s'est transformée en calamine, parfois très épurée de son fer et alors blanche, parfois au contraire ferrugineuse et rougeâtre ; le fer a donné de l'hématite et de la sidérose ; le plomb, moins altérable, a produit un peu de cérusite, mais est resté surtout à l'état de galène.

En même temps, il s'est développé, par réaction sur les calcaires et les dolomies, une certaine proportion de gypse, que l'on trouve surtout à la base des griffons (\*\*) et probablement aussi du sulfate de magnésie plus soluble.

Ces divers métaux ont souvent subi un transport. C'est ainsi que, dans les griffons, s'est déposée de la calamine, venant des contacts et des croiseurs : les parois verticales, primitivement érodées et décapées par les eaux acides, ont reçu des couches concrétionnées de calamine, comme une stalagmite ; sur les parois horizontales, il y a eu, au contraire, souvent pénétration par substitution ; dans l'axe, il s'est déposé de l'oxyde de fer, ou parfois de la sidérose, et il a pu rester un vide, dont on retrouve généralement la prolongation en profondeur au-dessous du remplissage.

Ces vides des griffons, creusés par les eaux le long des diaclases du calcaire, passent souvent à de véritables grottes. Le Laurium est certainement un des points du monde où les phénomènes spéléologiques présentent, avec

(\*) *Gîtes métall.*, II, p. 372 et 454.

(\*\*) Le gypse, qui aurait dû se produire dans la substitution de la calamine au calcaire, a été, en général, redissous, comme on en a la preuve en trouvant des épigénies de gypse en calamine, auxquelles on peut comparer les épigénies de gypse en silice du bassin parisien.

les gisements métallifères, l'association la plus intime et la plus curieuse à étudier.

Les grottes, très abondantes au contact des gîtes métallifères et dont le creusement a dû être favorisé par l'acidité spéciale des eaux, ont parfois reçu des dépôts de minerais carbonatés ou sulfurés sous diverses formes.

C'est ainsi, comme nous venons de le voir, que les soit-disant *griffons*, — qui ne sont, en réalité, que des cassures, probablement postérieures à la minéralisation sulfurée, — forment souvent de grandes fentes vides, avec de vraies grottes enduites, les unes de calamine, les autres de calcite, quelques-unes de gypse, fentes dont la rencontre soudaine, dans les travaux, produit un aérage naturel et sur les parois desquelles a pu se déposer un enduit calaminaire, dont on a constaté parfois la cristallisation tout à fait contemporaine.

Aux environs du puits Serpieri, on a rencontré, en 1891, à la cote 50, au chantier 65, une véritable grotte de 10 mètres de large, sur 5 à 6 mètres de profondeur, entièrement recouverte d'un enduit de calamine bleue et verte, d'où partaient, comme de grandes flèches, des cristaux de gypse qui avaient parfois 1<sup>m</sup>,80 de long (\*).

Dans les masses calaminaires des griffons, la nature de la calamine varie suivant les points : dans le centre des grandes masses calaminaires, qu'on a exploitées d'abord, on avait de belles stalactites calaminaires, tandis qu'aujourd'hui on ne fait plus, en général, que vider les poches plus minces, ou gratter les bords des grands amas, dont la calamine est en couches plus opaques et plus impures.

Parfois, dans les parties hautes des griffons, on a trouvé des éponges d'oxyde de fer sur lesquelles s'étaient dépo-

(\*) Nous avons rapporté, pour l'École des Mines, quelques-uns de ces grands cristaux de gypse, donnés par M. Mouille : *Coll.* 1681-290 à 293.

sées, comme sur une sorte de filtre, des perles d'adamine (\*).

Quant aux fractures antérieures à la minéralisation et remplies par les sulfures B. P. G., qu'on a le tort d'appeler au Laurium des *croiseurs*, elles ont souvent donné, à l'intersection des délits du calcaire, de vrais *tuyaux* horizontaux, parfois vides, ou enduits de stalactites calcaires, parfois, au contraire, remplis de minerais oxydés et brouillés, qui sembleraient donc s'être déposés là dans de véritables grottes.

A ces mêmes réactions superficielles, on peut rattacher une importante galerie de grotte de 150 mètres de long, que l'on a trouvée à Dipsilesa, avec, sur le sol, un précipité de limon manganésifère à 32 p. 100 de manganèse et 16 p. 100 de fer, recouvert par une croûte de calcite.

Dans la même région, on a rencontré, vers 1889, une grotte vide de 2<sup>m</sup>,50 de large et 5 à 6 mètres de long, tapissée de cristaux de cérusite, avec brèche osseuse à la base.

Les grottes sont, d'ailleurs, nombreuses dans ces marbres de l'Attique, en dehors même de la région métallisée, et M. Lepsius en a signalé plusieurs (\*\*).

On peut rapprocher des gisements du Laurium des gîtes, que nous n'avons pas visités, mais qui, d'après les rensei-

(\*) *Coll.*, 1681-274 à 277. — Comme éléments accessoires, on a trouvé, au Laurium, des sels de cuivre : chessylite avec cuivre oxydulé et aiguilles de lettsonite (sulfate de cuivre et d'alumine) (éch. 229); azurite, avec fer oxydé hydraté (230); azurite avec chrysocolle (232); sels de cuivre colorant du gypse ou de la calamine (231 et 233); lettsonite (234 à 236); arséniate et sulfate de nickel (238 et 239).

(\*\*) *Loc. cit.*, p. 20. Sur le flanc nord du Pentélique, l'une d'elles, dans le marbre inférieur C<sub>3</sub>, a été, depuis l'antiquité, l'objet d'un culte religieux et renferme encore une chapelle. Dans le sud de l'Hymette, le même marbre en contient une de 200 mètres de long sur 100 de large, la Vuliasmeni, où l'eau de mer pénètre par des fissures souterraines et vient former une piscine, utilisée comme bain salé par les Athéniens.

nements que nous avons sur eux, nous semblent pouvoir être interprétés d'une façon très analogue, en invoquant également des remises en mouvement récentes : ce sont ceux de *Carthagène* (\*).

Là, également, on a des alternances de bancs schisteux et calcaires, dans lesquels se sont produites, d'abord des imprégnations de sulfures B. P. G., en rapport probable avec des filons, qui, bien visibles dans les schistes, ont été étalés et éparpillés par altération dans les calcaires. C'est ainsi que l'on a eu des lentilles de blende discontinues dans les schistes inférieurs, une importante couche de silicates de fer, avec galène, intercalée au milieu de ces schistes et, au contact entre les schistes et les calcaires, un lit irrégulier de minerais de fer manganésifères reposant sur des carbonates de plomb, qui, rencontrés dans les parties superficielles, seules attaquées jusqu'ici par les travaux, représentent évidemment l'état oxydé et altéré de sulfures B. P. G., semblables à ceux du Laurium.

La remise en mouvement de ces sulfures a donné, en même temps que ces oxydes de fer et carbonates de plomb, dans le calcaire supérieur, de grands amas calaminaires suivant des diaclases et d'autres amas, dits *crestones*, formés de sidérose, avec galène plus ou moins transformée en cérusite. Aux affleurements enfin, on a trouvé des ocres avec argent natif, cet argent venant évidemment de galènes disparues.

Nous décrivons un peu plus longuement un gîte, que nous avons pu étudier par nous-même (\*\*), celui des *Malines*, dans l'Hérault, à 11 kilomètres de Ganges.

La concession des *Malines* est dans une région (groupe

(\*) *Gîtes métall.*, II, p. 550 à 556. La théorie, que nous exposons ici sur ces gisements, est très différente de celle qui avait été antérieurement proposée pour les expliquer.

(\*\*) En mai 1895.

de Saint-Laurent-le-Minier), dont la minéralisation abondante a été très anciennement reconnue et où l'on a exploité une série de gisements de plomb, zinc et fer, affectant les terrains les plus divers : ce qui suffit à en montrer, contrairement à certaines théories, le caractère nettement filonien et intrusif (\*).

C'est ainsi qu'à Riols, près de Saint-Pons, non loin de Ganges, la blende, en filons, recoupe les schistes métamorphiques ; à Maudesse, la calamine est dans les dolomies quartzenses de l'infralias ; aux Avinières, dans une dolomie de la base du lias ; à Mas Rigal, dans le lias ; aux Malines, dans la dolomie bathonienne, intercalée entre les marnes liasiques et les calcaires oxfordiens, qui forment, au dessus, de beaux escarpements.

Ces gisements, qui partagent, avec la plupart des amas calaminaires de tous les pays, ce caractère commun d'être compris, non dans des calcaires proprement dits, mais dans des dolomies (\*\*), semblent en relation avec un groupe de filons, ou, tout au moins, de fractures minéralisées, dont le remplissage, aux affleurements, est principalement barytique.

Ce groupe de filons s'étend assez loin : au Mas de Beaugis, la calamine cloisonnée englobe des blocs de barytine ; à Mas-la-Combe, un filon complexe renferme, avec de la barytine et du quartz, des minerais de zinc et de cuivre ; près des *Malines* mêmes, à l'ouest, vers Mon-

(\*) Cf. *Gîtes métallifères*, II, p. 429 à 436. Parmi les plus importants, l'amas des Avinières, qui a été exploité à ciel ouvert par la Société des Zincs français, a produit environ 120.000 tonnes de calamine ; les deux Jumeaux, au nord de Ganges, ont donné, quelque temps, de bons résultats ; Maudesse a été repris plusieurs fois, etc.

(\*\*) Peut-être, parce que le carbonate de magnésie a, suivant une hypothèse de M. Dieulafait, chimiquement facilité la précipitation, ou la substitution du carbonate de zinc. Une dolomie des *Malines*, considérée comme stérile, nous a donné à l'analyse : chaux, 29,60 ; magnésie, 19,60 ; perte par calcination, 48,40 ; argile, 0,60 ; peroxyde de fer, 0,80 ; zinc, 0,80.

tardier, on voit, suivant une grande faille, qui, au nord-fait buter le trias contre le bathonien et limite nettement les gîtes, plusieurs filons barytiques parallèles E.O., avec mouches de cuivre, de 1 mètre et plus d'épaisseur, appelés le filon Castelnau. 200 mètres plus à l'est, des veines perpendiculaires, c'est-à-dire N.S., également remplies de barytine avec galène et blende, semblent des ramifications latérales du même filon.

Les imprégnations calaminaires, que l'on peut supposer en relation d'origine avec ces filons de Castelnau, sont strictement limitées à une couche de dolomie bathonienne, cariée, caverneuse, poreuse, souvent friable, comme un sable, quand elle est stérile, et qui, au contraire, quand les sels de zinc s'y sont substitués aux sels calcaires, a pris un aspect compact, déjà caractéristique par lui-même avant toute analyse. L'oxfordien, au dessus, et les marnes liasiques, au dessous, sont restés absolument indemnes.

Dans cette dolomie bathonienne, la minéralisation primitive et profonde paraît avoir pris la forme ordinaire des sulfures B. P. G, avec grande prédominance ici de la blende sur la galène et la pyrite, très rares. Mais, postérieurement, il s'est produit, dans ces calcaires friables et disloqués, une circulation d'eau intense, dont on peut se faire une idée en visitant la mine, quelques heures après un orage, et la voyant envahie par les eaux. Cette pénétration d'eau, chargée d'oxygène et d'acide carbonique, a produit là tous les phénomènes ordinaires de grottes, d'abîmes, galeries souterraines, etc., que M. Martel a si bien étudiés dans les Causses, mais, probablement, poussés ici à leur paroxysme par la présence des sulfures donnant des sulfates acides et accompagnés de reprécipitation des carbonates métalliques, et il en est résulté des phénomènes de remisé en mouvement, très analogues à ceux que nous avons pu examiner au Laurium, en Silésie ou en Sar-

daigne, c'est-à-dire : des amas calaminaires, pouvant ne pas affleurer au jour (\*), parfois contigus à des grottes, ou redéposés, dans les cavités mêmes, par un phénomène secondaire; un peu de carbonate de plomb et, accessoirement, de l'oxyde de fer, qui est en quantités insignifiantes aux Malines, mais qui, dans le gîte voisin des Avinières, a été assez abondant pour motiver la construction d'un haut-fourneau.

Par suite de circonstances complexes, assez difficiles à expliquer dans chaque cas particulier, mais dont les conséquences générales s'observent dans tous les gisements de ce genre, l'altération a été très variable d'un point à l'autre, et on peut en constater les différences sur les deux grands amas des Malines, qui ont été successivement découverts à côté l'un de l'autre, à 200 mètres au-dessus du niveau hydrostatique.

Au nord, l'amas Henri, plus récemment reconnu en 1892, est resté, en grande partie, à l'état de blende massive, noire ou brunâtre, dans sa moitié ouest, tandis qu'au nord-ouest, on a de la calamine plumbeuse, séparée de la calamine pure par de la blende et, au sud-est, de la calamine plumbeuse directement sur la calamine pure. Au sud, au contraire, l'amas de Cabrières est formé de calamines. La substitution calaminaire a, d'ailleurs, comme toujours, pénétré dans la dolomie en partant des fissures et des diaclases, gardant souvent la structure antérieure de cette dolomie et encaissant des noyaux inaltérés.

L'amas Henri, le plus grand, à 170 mètres de long sur 40 mètres de large, avec une puissance qui atteint, vers l'ouest, de 10 à 36 mètres; l'amas de Cabrières a, en

(\*) L'amas Henri, trouvé en 1892, à quelques mètres de la surface, n'affleurerait pourtant pas; c'est, par suite, un peu au hasard, qu'on découvre ces gisements.

plan, 50 mètres sur 100, avec 13 mètres de puissance maxima (\*).

Dans l'amas de Cabrières, qui forme lui-même, au milieu de la dolomie bathonienne horizontale, une lentille irrégulière, on a, généralement : à la base, de la calamine blanche, recouverte par de la blende plombeuse, qu'un léger filet d'argile en sépare; puis de la calamine plombeuse avec cérusite et, à la partie supérieure, des terres rouges zincifères.

C'est assez l'équivalent des coupes de gisements silésiens, que nous avons données ailleurs (\*\*), et où l'on a également, à la base, sur les calcaires corrodés du mur, de la calamine blanche, surmontée par de la calamine rouge plus ou moins mélangée de galène et par des minerais oxydés de fer.

La calamine plombeuse des Malines peut tenir, après calcination, 55 p. 100 de zinc contre 13 de plomb.

Quant aux argiles rouges (résidu évident de la dissolution chimique des dolomies), qui jouent un rôle important dans l'industrie des Malines (\*\*\*), elles sont généralement peu ferrugineuses (10 à 12 p. 100 de fer), le fer étant rare dans le gisement profond sulfuré, mais assez fortement chargées de zinc; la galène y fait des mouchetures ou des zonages noirs, et l'on y retrouve des débris de dolomie intacte, ayant résisté à la dissolution (\*\*\*\*).

Parfois ces terres rouges ont subi une lévigation, qui,

(\*) En 1894, 500 ouvriers ont extrait 33.000 tonnes de minerai marchand, dont 20.000 tonnes de blende.

(\*\*) *Gîtes métallifères*, II, p. 454.

(\*\*\*) Après débouillage au trommel classer, elles passent aux cribles à secousse et à des tables tournantes; mais on a des difficultés, en raison de la légèreté des ocre rouges, qui entraînent des parcelles de ces minerais et de l'inconstance de ces minerais, irrégulièrement décomposés et mélangés de carbonates.

(\*\*\*\*) La teneur en argent des argiles provenant des galènes décomposées atteint souvent 150 grammes à la tonne.

par une véritable préparation mécanique, a séparé des couches d'ocre rouge légères et non métallifères des couches zincifères plus denses.

Ailleurs, on a toute une série de phénomènes analogues à ceux que l'on observe dans les grottes : par exemple, des couloirs souterrains, creusés dans le calcaire et qu'un bourrage de terre rouge, appliqué contre les parois, a entièrement remplis. Ou bien, l'on observe des grottes encore ouvertes, dont l'approche est signalée par des soufflards, parfois très violents, d'acide carbonique (résidu du dépôt des bicarbonates).

Dans ces grottes, on peut remarquer les deux modes et, en même temps, les deux phases de dépôt calaminaire, que nous avons précédemment envisagées d'une façon générale et théorique.

La majeure partie de la calamine est un produit de substitution et de pénétration par porosité dans les calcaires, antérieur au creusement de ces grottes, — qui peuvent, d'ailleurs, tout aussi bien exister dans une partie stérile que dans une partie métallisée et y ont été produites également par l'action dissolvante des eaux, soit pendant, soit après la transformation des sulfures en carbonates —.

Mais, quand ces eaux sont venues ainsi creuser un vide dans un calcaire déjà zincifère, les éboulis tombés du plafond (comme on en voit dans toutes les grottes) (\*) ont été des masses calaminaires (dont on retrouve encore souvent le prolongement, resté adhérent à la voûte), et ces blocs calaminaires, plus ou moins plombés, ainsi accu-

(\*) On a la preuve que la grotte est postérieure à la transformation calaminaire, par la façon dont la calamine, dans les parois, passe progressivement au calcaire. Quand la calamine est arrivée, après coup, en dissolution, dans un vide préexistant, elle s'y est, au contraire, déposée nettement sur une paroi lisse, parfois même déjà enduite de stalactite calcaire.

mulés sur le sol, y ont été mélangés des produits ordinaires de la dissolution des calcaires, c'est-à-dire de terres rouges, remarquables ici par leur forte teneur en zinc.

Ailleurs, on observe que, par une remise en mouvement de la calamine, qui est une réaction encore postérieure à la transformation du sulfure en carbonate, et même au creusement des premières grottes, des croûtes, ou de petites stalactites de cette calamine, ont pu se déposer sur des fissures préexistantes, parfois avec accompagnement de gypse et d'anglésite.

Évidemment, tous ces phénomènes, de transformation du sulfure de zinc en carbonate, de creusement des grottes par dissolution du calcaire avec résidu d'argile rouge, de remise en mouvement des calamines ayant pu se redéposer en concrétions et en stalactites, de lévigation et d'épuration des minerais, forment un ensemble très complexe, produit par la circulation très prolongée des eaux.

**Plomb.** — Des phénomènes tout à fait analogues se présentent pour certains grands gisements de plomb argentifère, encaissés dans des calcaires et ayant pris, à la surface, par double réaction sur ces calcaires, la forme carbonatée (\*).

Là encore, on observe la double influence :

D'une part, des réseaux de cassures du calcaire, particulièrement quand celles-ci se sont multipliées dans des zones de broyage formant stockwerk entre deux failles (type Eureka pour le carbonate de plomb, à rapprocher de las Cabesses pour le carbonate de manganèse);

D'autre part, des contacts de calcaires et de roches

(\*) Nous en avons fait, dans notre traité des *Gîtes métallifères*, une catégorie spéciale : Gisements de plomb dans les calcaires, avec phénomènes de substitution, t. II, p. 610 à 652.

inataquables (type Leadville, entre le calcaire et la microgranulite, à rapprocher des exemples précédents du Laurium et de Carthagène).

En même temps, des grottes, soit vides, soit remplies de minerais en dépôts secondaires, ont été souvent creusées, au contact des gisements, par la circulation des eaux superficielles, qui, à peu près en même temps, exerçaient, sur le gîte, ces actions de remise en mouvement.

Par exemple, à *Eureka* (Nevada) (\*), on a exploité, dans une zone de broyage en forme de prisme triangulaire coincé entre deux failles, des amas de carbonates de plomb argentifère et aurifère, dispersés dans un calcaire dolomitique.

Ces amas, provenant de sulfures, galène, pyrite, blende, mispickel, etc., rencontrés en profondeur, présentaient, au-dessus du niveau hydrostatique : cérusite, anglésite, galène, mimétèse et wulfénite, avec du fer hydroxydé formant la masse de la gangue et une proportion relativement forte d'argent et d'or.

Par une particularité à noter, il semble bien que l'on saisisse, sur le fait, dans ce gisement, la preuve d'un phénomène qui a dû se produire assez souvent et exercer une certaine action sur les gîtes métallifères : à savoir, une variation récente du niveau hydrostatique, qui se traduit par une légère prolongation des minerais oxydés, un peu au-dessous de ce niveau actuel.

On a observé, fréquemment, à Eureka, à la partie supérieure d'un grand amas de carbonate de plomb, une cavité ouverte, renfermant un lit de sable et de galets au-dessus de minerais remaniés et ayant subi une véritable sédimentation ; c'est seulement un peu plus bas que l'on retrouve des minerais inaltérés. D'autre part, les sels de

(\*) *Gîtes métall.*, II, p. 626 à 637. La figure 319, p. 628, montre bien l'arrêt des travaux au niveau hydrostatique. — Cf. KEMP, *Ore deposits*, p. 196.

plomb ont visiblement pénétré par substitution dans le calcaire, dont ils conservent souvent la structure.

On a donc là, exactement comme aux Malines, des gîtes antérieurs à un creusement de grottes, qui, produit par la circulation des eaux souterraines, a accompagné leur remise en mouvement.

A *Leadville* (Colorado) (\*), à environ 3.000 mètres d'altitude, les carbonates de plomb argentifères et aurifères, accompagnés d'hématite, se trouvent, en général, sous des microgranulites, qui forment un toit continu et homogène, dans des calcaires irrégulièrement corrodés et entamés par les eaux, dont les cassures élargies présentent des cavités analogues aux griffons du Laurium. Outre le carbonate de plomb et la galène, les minerais y renferment de l'anglésite, de la pyromorphite, du sulfate de fer, des chlorures, chlorobromures, etc., d'argent, des silicates de fer et de manganèse, de la barytine, de la strontianite, etc.

Là encore, on a affaire à la remise en mouvement, par des eaux superficielles, de gîtes sulfurés, retrouvés en profondeur, et l'on peut supposer que les eaux filoniennes, par lesquelles ceux-ci avaient été déposés, avaient dû déjà choisir, comme chenal d'intrusion, le plan de plus facile pénétration situé au contact des deux terrains d'inégale résistance.

En Asie-Mineure, M. Brisse a étudié, à *Bulgar Dagh*, à environ 60 kilomètres au nord de Tarsous et de Mersina, sur le flanc nord du Taurus Cilicien, des gisements considérables de plomb carbonaté argentifère et aurifère, qui présentent, avec ceux de *Leadville*, une remarquable analogie, mais en offrant un développement des phénomènes d'hydrologie souterraine et de spéléologie, modi-

(\*) *Gîtes métall.*, II, p. 637 à 651. — Cf. KEMP, *Ore deposits*, p. 182; et Blow, *Trans. of the Am. Inst. of Mining Engineers*, 1889.

fiant les gîtes métallifères, dont nous ne connaissons pas de plus curieux exemple (\*).

D'après les notes inédites, que M. Brisse a bien voulu nous communiquer, en attendant la publication de son mémoire, la formation métallifère, très étendue et très considérable, de cette région, s'étend, en dehors du massif de *Bulgar Dagh* lui-même, entièrement perforé par les galeries de mines, sur les pentes de l'*Akdagh* et vers *Berelessi Maden*, dans l'*Aladagh*.

Une coupe N.S. de la région montre, sur les deux flancs du *Bulgar Dagh*, des terrains miocènes, oligocènes et nummulitiques, en discordance sur un anticlinal fortement disloqué de calcaires dolomitiques et de calcschistes, probablement dévoniens, reposant eux-mêmes sur des schistes à glaucophane; des porphyres à quartz globulaire et des porphyrites percent les terrains anciens du versant nord; des serpentines bouleversent jusqu'à l'éocène (\*\*); enfin, au nord, la trainée volcanique du mont Argée au *Karadagh*, longe la chaîne de l'Anti-Taurus et du Taurus Cilicien, au bord du grand désert salé.

Les gisements métallifères paraissent, comme ceux de *Leadville*, avoir été formés principalement de couches de contact, déposées par intrusion et substitution dans les calcaires dolomitiques, le long des porphyres à quartz globulaire, qui ont l'allure de filons-couches (\*\*); mais, postérieurement, ils ont été modifiés et déplacés par des circulations d'eau et même de rivières souterraines d'une intensité extraordinaire, rivières qui ont aujourd'hui

(\*) Rappelons, à ce propos, les grottes de Mineral Point, en Wisconsin (*Gîtes métall.*, II, p. 623), où du carbonate de plomb s'est restratifié sur des os d'éléphant et de chauve-souris.

(\*\*) Il existe là des serpentines de deux âges, comme en Corse ou à l'île d'Elbe: les unes ne dépassant pas le dévonien, les autres percent l'éocène.

(\*\*\*) Nous pouvons noter, en passant, la fréquence d'un semblable rapprochement entre les gisements de plomb et les porphyres à quartz globulaire, ou les microgranulites.

complètement disparu, en laissant, sur leur ancien parcours, des successions de grottes béantes, où parfois se sont stratifiées des couches de minerai, transportées mécaniquement et oxydées.

Le gisement, situé entre 2.000 et 2.400 mètres d'altitude, peut se partager en deux zones : la première, plus rapprochée de l'axe de la montagne et plus profonde, où l'altération a été moins complète, en sorte qu'on trouve du carbonate de plomb plus compact et plus chargé de galène et où, de plus, la transformation s'est faite sur place sans charriage; la seconde, extérieure et plus superficielle, qui offre de grandes grottes, où le sol présente un dépôt boueux ou sableux, comprenant des couches de carbonate de plomb, avec oxyde de fer jaunâtre, rougeâtre, verdâtre, noirâtre, etc., et des poches à parois de calcaire remplies d'éléments métallifères accumulés sans aucun ordre (\*).

Là, il existe des séries de grandes salles, aux voûtes garnies de stalactites calcaires, dont le sol est formé d'une couche brune, passant en profondeur à un dépôt carbonaté important, et recouverte elle-même par une croûte transparente de carbonate de chaux.

Les observations de M. Brisse sembleraient même prouver que la plupart des rivières souterraines ont coulé là à niveau plein; car, au lieu d'offrir des stalactites, le revêtement blanc du toit des galeries est généralement formé d'aiguilles, de gerbes entrelacées, ayant l'aspect du produit d'une cristallisation opérée lentement dans un liquide au repos.

Enfin, dans le *Derbyshire*, M. Martel a décrit récemment (\*\*) les grottes, situées dans le calcaire carbonifère

(\*) La teneur moyenne du minerai est, d'après M. Brisse, après le triage très sommaire, tel qu'il s'effectue actuellement, de 20 p. 100 de plomb avec 6<sup>es</sup>.500 d'argent et 30 à 40 grammes d'or à la tonne de plomb.

(\*\*) *Annales des Mines*, juillet 1896.

de Peak, au voisinage de flons de galène et de fluorine, où l'on constate des exemples intéressants de remise en mouvement de la fluorine, formant parfois de véritables stalactites (Blue-John Mine).

**Argent.** — Pour les effets de l'altération superficielle sur les minerais d'argent, nous nous contenterons de reproduire, en quelques mots, les conclusions d'une étude que nous avons eu récemment l'occasion de consacrer à ce sujet dans un ouvrage spécial sur ce métal (\*).

Près de la surface, l'argent est, dans les filons, à l'état natif, avec des chlorures, bromures, iodures, etc., associés à des oxydes de fer, de manganèse et souvent de cuivre; si la gangue est quartzreuse, elle présente un aspect carié, dû à la dissolution des inclusions sulfurées, qu'elle contenait d'abord; fréquemment, de l'argile rougeâtre ou grise y est associée; ce genre de minerais constitue les *pacos*, *cascajos* et *colorados* du Mexique, ce que l'on appelle, d'un seul mot, les *metales calidos* (métaux chauds), faciles à amalgamer, mais dont la teneur en argent est souvent assez faible par rapport au reste du gisement (5 à 600 grammes à la tonne).

Plus bas, vers 80 à 150 mètres, apparaît la zone de la *bonanza* mexicaine, où, par une sorte de phénomène de cémentation, s'est concentré l'argent, venant en partie de la superficie (souvent avec le cuivre, si celui-ci abondait dans le gisement).

L'argent est là, à l'état de sulfure  $\text{Ag}_2\text{S}$  (argyrose); le cuivre, à l'état de chalcosine, de cuivre gris (souvent argentifère lui-même) et de phillipsite; le fer manque, ou se présente à l'état oxydé; le plomb, peu abondant, est, en grande partie, à l'état de carbonate.

Cette zone, riche en argent, et qui donne parfois des

(\*) *L'Argent*, 1 vol. Chez Baillièrre, 1896.

minerais tenant 8 ou 9 kilogrammes d'argent à la tonne, est déjà moins facile à amalgamer que la première et constitue des métaux demi-froids ou demi-chauds : *mulatos*, *negros*, *negrillos*, *pavonados*, *bronzes*, etc.

Enfin, quand on passe au-dessous du niveau hydrostatique, ce qui n'arrive guère plus bas que 4 ou 500 mètres, on trouve le remplissage complexe des minerais sulfurés, antimonieux ou arsenicaux, qui se prolongera indéfiniment plus bas, sous sa forme primitive : c'est-à-dire qu'on a, en proportions variables, suivant les gîtes, des galènes plus ou moins argentifères, des pyrites de fer et de cuivre, des mispickels, des blends, etc., avec de rares minéraux d'argent.

Ce sont ces sulfures qui persistent ensuite, avec une richesse variable suivant les points, comme celle d'un gisement quelconque, mais qui ne paraît plus obéir à aucune loi générale et résulte seulement des conditions locales du dépôt.

Il va de soi, d'ailleurs, que, suivant les cas, ces diverses zones que nous venons de distinguer ont une épaisseur très variable, et que l'une ou l'autre peut s'atténuer au point de disparaître presque complètement.

Or. — Enfin, l'or est un des métaux pour lesquels l'altération superficielle a eu les effets les plus marqués et où les remises en mouvement, un peu imprévues pour un métal aussi insoluble en apparence, paraissent avoir joué le rôle, industriellement le plus important.

Les venues premières de l'or semblent en relation avec deux catégories de roches absolument distinctes : d'une part, les roches basiques de profondeur, diabases, péridotites, gabbros, etc., au voisinage desquelles l'or existe souvent, associé avec les sulfures de fer, de cuivre, etc. ; d'autre part, les roches acides, granites, granulites, trachytes, etc., qui ont parfois donné des filons d'or avec

pyrite de fer, mispickel, accessoirement fluorine, etc.

Les associations avec les roches basiques rentrent dans le groupe de ces métaux, fer, cuivre, platine, chrome, nickel, qui constituent principalement les gîtes d'inclusions et de ségrégation directe ; on peut en citer d'innombrables exemples, sans parler même des traces d'or, qui sont extrêmement fréquentes dans les amas de pyrite de fer (Tharsis, Falun, etc.), et qui, dans les chalcopyrites, deviennent souvent exploitables (\*).

C'est ainsi que, dans le nouveau district de *Coolgardie*, en Australie Occidentale, sur lequel l'attention a été si bruyamment attirée depuis quelque temps, des filons aurifères, parfois d'une grande richesse locale, mais sans aucune continuité et, pour la plupart, ce semble, inexploitable (\*\*), sont, d'après M. Gascuel, presque exclusivement concentrés dans des roches vertes (diorites et diabases), décomposées en un limon rouge à la surface. Tel est le cas pour la seule mine du district qui soit réellement en marche normale, la Lady Loch, où le quartz aurifère est encaissé dans la diorite (\*\*\*) .

Dans le contesté Franco-Brésilien, au *Carsevenne*, M. Bernard vient également de retrouver l'or, associé à du quartz manganésifère, dans des diorites avec veines de

(\*) Dans le district de Trailcreek, près Rossland, en Colombie Britannique, on exploite, à la mine Le Roy, des masses de chalcopyrite aurifère, avec pyrrolite, associées à des roches basiques. Nous avons rappelé, plus haut, les phillipsites, avec or natif, du Chili. Les chalcopyrites aurifères sont fréquentes au Tyrol, en Styrie, au Namaqualand, dans l'Arizona, etc...

(\*\*) Comme toujours, les meilleurs gisements sont là ceux où l'or est à l'état invisible, disséminé dans la masse et les quartz à beaux cristaux d'or natif déposés dans les fissures, qu'une industrie financière très spéciale, qui a eu ses moments de prospérité, utilise dans les « broyages d'essai », donnent ensuite des résultats très médiocres.

(\*\*\*) *Coll. École des Mines*, n° 1079. Il existe, en outre, dans cette région, ce qu'on appelle des *formations*, qui paraissent résulter de l'altération de schistes ou de grès, disloqués et traversés par des veines de quartz (mines Burbanks, Big Blow, United gold reefs, etc.).

granulite, formant, au milieu des gneiss et schistes à amphibolites, un ensemble tout à fait analogue à celui qui couvre de si grands espaces entre Montluçon, Limoges et Tulle, dans le Plateau Central Français (\*).

On retrouve des caractères semblables en certains points de *Madagascar*, où les terres rouges légèrement aurifères du Betsileo et de divers points de la côte ouest, sur lesquels on est en train d'édifier tant d'espérances, paraissent résulter de la décomposition des diorites dans des conditions comparables à celles de la Guyane.

A ces exemples, que nous avons choisis surtout parce qu'ils sont encore inédits, nous pouvons ajouter le cas des diorites aurifères du Charterland(\*\*), des diorites aurifères de Gympie et de Swiftscreek, dans la province de Victoria, en Australie, etc., des diorites encaissant les filons aurifères du Callao au Vénézuéla, etc...

L'or est, par contre, très fréquemment associé aux roches acides (granulites ou trachytes), comme l'étain, avec lequel il présente de très intimes analogies et une communauté de gisements très fréquente.

L'or des Blackhills du Dakota, une partie de celui de Californie et de Hongrie sont rattachés à des trachytes.

A Bérézowsk, dans l'Oural, l'or est dans des filons de

(\*) Les échantillons de roches, rapportés par M. Bernard, ressemblent trait pour trait à ceux des feuilles au  $\frac{1}{80.000}$  de Confolens et de Montluçon, que nous avons étudiées récemment.

En Guyane française, l'or paraît être également souvent associé à des diorites, qui se décomposent sur place pour donner le cascajo.

(\*\*) Il ne serait pas impossible que les importantes venues aurifères du Witwatersrand eussent, elles-mêmes, une relation d'origine avec les très abondantes éruptions de diabases ophitiques et de porphyrites, qui se trouvent au voisinage et qui font partie d'une famille de roches, très ordinairement associée aux formations de sulfures métalliques (région d'Huelva, etc.).

Dans le district de Lydenburg (Transvaal), des filons d'or, parfois à forte teneur, mais très irréguliers et paraissant présenter quelque analogie avec les gisements du Black Reef, sont en rapport avec des diorites.

granulite à pyrite de fer. A Bømmelö (Norvège), l'or semble également associé à du granite.

Dans les placers de la Zeya (province de l'Amour), en Sibérie Orientale, M. Levat (\*) a trouvé récemment des couches aurifères, interstratifiées dans les micaschistes, qui semblent en relation avec une venue granitique, également aurifère dans toute sa masse et présentant des sortes de stockwerks à fins réseaux de cassures ferrugineuses.

Dans un voyage antérieur en Transbaikalie, il avait également étudié, au placer Blagovietchensk, de l'or en relation avec des filons de granulite fine.

Au Chili, il existe de même, en plusieurs points, dans le granite, de l'or avec de la cassitérite, de la pyrite de cuivre et des composés de bismuth, du tellure, du sélénium, etc.

C'est dans ce groupe de gisements qu'il faut, sans doute, ranger les mispickels aurifères, si fréquents et parfois si riches en tant de pays : à Passagem, à Faria, au Brésil (avec tourmaline, bismuth et pyrrhotine, à Passagem) et même en France, à Bonnac, dans le Cantal. Ces mispickels font probablement partie de la famille des filons d'étain, dans lesquels on les trouve fréquemment.

Les venues d'or acides présentent parfois une autre association intéressante avec la fluorine : ainsi, dans le district maintenant fameux de Cripple Creek, au Colorado, où les tellurures d'or ont une gangue de fluorine.

Dans le comté de Boulder, à Magnolia, le tellurure est également associé à la fluorine.

Enfin nous sommes tenté de rattacher au même groupe les bismuths aurifères, dont un exemple curieux existe à Pilgrimsrest, au Transvaal (\*\*), ou les stibines aurifères,

(\*) *L'Or en Sibérie Orientale*. 2 vol., chez Rouveyre, 1897.

(\*\*) Un échantillon de ce genre fait partie d'une magnifique collection de minerais d'or natif transvaaliens offerte, en mai 1897, à l'École des Mines, par le Gouvernement du Transvaal et recueillie par M. Klincke, ingénieur en chef de ce Gouvernement.

telles que celles de Gravelotte, dans le Murchison Range (Transvaal) (\*), et de Reefton en Nouvelle-Zélande.

Les minerais d'or de profondeur appartiennent à plusieurs types, en rapport avec les gisements que nous venons d'énumérer.

L'or, à peu près toujours associé au quartz (et à un quartz spécial, qui est seulement comparable à celui des filons stannifères), se présente, le plus souvent, dans de la pyrite de fer, parfois dans la chalcopryrite, plus rarement dans la stibine, le sulfure de bismuth (\*\*) ou, accidentellement, dans la galène ou encore à l'état de séléniure, de tellurure, etc.

A la surface, ces sulfures divers ont subi les altérations que nous avons étudiées précédemment. Le fer et le cuivre, notamment, ont été, en grande partie, dissous et déplacés, et l'or, qu'ils contenaient, s'est, à la suite d'une remise en mouvement plus ou moins prononcée, concentré en houppes, en cristaux accumulés dans des géodes, en feuillets déposés sur des plans de joint ou des fissures. Ainsi se sont formés, dans des quartz cariés, rougis par de l'oxyde de fer et souvent avec des hématites, ces beaux échantillons d'or natif, que les prospecteurs anglais comparent à un étalage d'orfèvre (*jewelers shop*) et qui, généralement, sont, pour l'avenir du gîte, un symptôme plutôt défavorable; car ils prouvent une distribution irrégulière du métal précieux dans le filon, tandis qu'on aime à rencontrer de l'or fin, régulièrement disséminé.

(\*) *Mines d'or du Transvaal*, p. 537.

(\*\*) Nous venons de signaler au Transvaal, dans le Murchison Range et à Pilgrimsrest, des exemples intéressants de stibine ou de bismuthine, avec grains d'or natif, qui, aux affleurements, ont donné des oxydes d'antimoine ou de bismuth souvent avec fortes teneurs en or. A Falun, en Suède, dans des amas de pyrite de fer cuivreuse, il existe des concentrations locales d'or, avec un sélénio-sulfure de bismuth et de plomb. A Bleka, en Norvège, on a exploité du bismuth sulfuré avec or natif et sulfures de fer, de cuivre et de plomb.

La concentration de l'or dans les parties hautes de ses gisements et surtout son isolement à l'état natif, sous une forme plus facilement amalgamable, sont un fait très général et qui amène, en principe, un enrichissement, sinon dans la zone absolument superficielle des gîtes, d'où l'or a pu être entraîné pour aller former les alluvions, du moins dans les parties hautes, oxydées et altérées.

Souvent, quand l'or se trouvait dans des roches basiques, celles-ci, pour la plupart faciles à décomposer, ont donné un limon rouge superficiel, bien connu dans l'Amérique du Sud ou à Madagascar, et l'or s'y est isolé, parfois même concentré, presque sur place.

C'est ainsi que paraissent s'être formés, sans transport à distance, un certain nombre de placers.

Nous ajouterons seulement que, même dans les placers ordinaires, produits par un transport et une préparation mécanique, nous sommes porté à attribuer un certain rôle à des remises en mouvement par dissolution (\*), ayant pu grossir et nourrir certains cristaux volumineux, qu'on trouve, avec leurs angles à peu près intacts, au milieu de graviers roulés.

(\*) Nous n'insistons pas ici sur cette question, que nous avons eu l'occasion de traiter incidemment dans notre ouvrage sur le *Transvaal*, p. 341 à 348.

## TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
PREMIÈRE PARTIE. — <i>Essai de classification théorique des gites métallifères. — Nature et importance des gites d'inclusions et de ségrégation</i> .....	128
A. — Gites d'inclusions.....	128
B. — Gites de ségrégation directe et de départ.....	138
C. — Gites filoniens.....	143
DEUXIÈME PARTIE. — <i>Rôle des phénomènes d'altération superficielle et de remise en mouvement</i> .....	147
TROISIÈME PARTIE. — <i>Application des idées précédentes à quelques métaux</i> .....	159
Métaux alcalins.....	160
Calcium, baryum et strontium.....	163
Magnésium.....	173
Chrome.....	175
Nickel.....	176
Fer.....	178
Manganèse.....	185
Cuivre.....	191
Zinc (cas du Laurium, des Malines, etc.).....	196
Plomb (cas d'Eureka, Leadville, Bulgar Dagh).....	216
Argent.....	221
Or.....	222

## BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DES ÉTATS-UNIS  
EN 1895 (\*) ET EN 1896.

	1895		1896	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
<b>1<sup>o</sup> Métaux.</b>				
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Fonte.....	9.507.449	562.716.568	8.761.097	474.372.020
Cuivre.....	175.294	240.392.434	212.203	257.599.234
Plomb.....	142.297	52.487.738	158.570	53.777.047
Zinc.....	74.264	30.784.170	70.432	31.464.454
Mercuré.....	1.179	6.804.391	1.151	6.359.279
Aluminium.....	408	2.564.100	590	2.693.600
Antimoine.....	422	364.320	556	443.926
Argent (en kilogrammes).....	1.441.051 <sup>kg</sup>	156.717.253	1.819.208 <sup>kg</sup>	203.294.233
Or (idem).....	70.467	242.580.436	79.576	273.950.563
Platine (idem).....	4,7	11.655	6,2	14.504
<b>Total.....</b>		1.265.423.065		1.303.969.760
<b>2<sup>o</sup> Matières minérales.</b>				
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Charbon. { Anthracite.....	47.080.919	415.698.377	44.321.476	456.388.235
Houille bitumineuse.....	124.363.917	639.978.319	124.585.909	595.340.750
Cannel coal.....	63.274	993.544	49.587	758.807
Coke.....	11.333.996	98.514.669	9.398.153	89.468.292
Asphalte.....	23.156	883.190	18.547	346.542
Calcaire asphaltique.....	5.035	86.247	2.829	45.138
Grès bitumineux.....	38.441	724.915	48.189	718.538
Gilsonite.....	1.043	178.710	1.542	282.310
Pétrole brut.....	7.215.896	246.697.049	8.364.631	295.069.049
Gaz naturel.....	"	62.160.000	"	51.800.000
Graphite cristallin.....	171	89.541	184	94.405
Graphite amorphe.....	762	21.346	520	19.943
Minerai de fer.....	16.243.808	144.931.220	14.884.400	147.979.650
Pyrites.....	109.455	1.774.600	119.666	1.542.878
Minerai de manganèse.....	173.237	1.693.594	165.126	1.756.450
Minerai d'antimoine.....	982	196.348	136	24.605
Minerai de chrome.....	1.578	86.998	743	40.274
Oxyde de cobalt.....	3	44.755	6	86.361
Bauxite.....	19.100	292.152	17.369	354.229
Monazite.....	862	590.520	8	4.532
Pierre à bâtir.....	"	141.285.198	"	144.912.442
Marne.....	221.183	3.044.752	157.480	2.167.830
Castine.....	4.798.724	9.786.377	4.880.548	8.933.557
Marbre.....	"	14.960.429	"	13.470.222
Chaux.....	5.443.164	155.400.000	5.443.164	155.400.000
Ciment.....	1.182.903	31.224.797	1.201.780	31.409.075
Pierre meulière.....	33.012	1.504.158	28.395	1.524.670
Pierres à meules.....	"	82.491	"	76.933
Pierres à aiguiser.....	"	483.309	"	544.941
<b>A reporter.....</b>		1.973.413.605		2.000.560.658

(\*) Les chiffres de 1895, bien que déjà publiés l'an dernier (*Ann. des Mines*, 2<sup>e</sup> vol. de 1896, p. 387-388), sont donnés de nouveau ici à raison des rectifications apportées à un certain nombre d'entre eux.

	1895		1896	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
<i>Report</i> .....		1.973.413.605		2.000.560.658
Silice, sable et quartz.....	532.018	2.865.203	731.925	5.573.876
Tripoli.....	1.617	131.934	2.199	160.724
Argile à porcelaine.....	28.011	1.338.672	26.683	1.126.914
Argile réfractaire.....	3.401.977	23.310.000	3.628.775	24.864.000
Argile commune.....	"	311.318.000	"	336.700.000
Ardoise.....	"	14.955.126	"	14.133.303
Phosphate de chaux.....	1.115.585	17.077.201	877.574	13.422.737
Gypse.....	270.863	5.046.454	210.150	3.832.158
Borax.....	6.126	3.847.963	6.921	3.951.822
Soude naturelle.....	1.724	246.050	2.722	336.700
Soude fabriquée.....	167.000	19.896.380	158.975	18.940.281
Barytine.....	18.375	512.924	19.867	453.763
Magnésite.....	1.995	76.146	1.875	69.593
Amiante.....	602	61.316	650	65.630
Talc fibreux.....	36.288	1.657.600	40.824	1.631.700
Stéatite.....	20.079	1.773.104	22.062	1.376.875
Mica.....	338	198.684	402	238.900
Feldspath.....	22.550	539.145	22.554	584.454
Spath-fluor.....	3.628	124.320	3.628	124.320
Quartz.....	"	62.160	"	124.320
Carborundum.....	102	351.204	539	1.893.870
Corindon.....	349	279.202	227	181.300
Emeril.....	1.542	616.420	1.406	562.030
Grenat.....	795	204.428	2.578	500.532
Pierres précieuses.....	"	1.295.000	"	1.036.000
Laine minérale (*).....	6.340	388.303	5.400	319.678
Couleurs minérales (vermillon, blanc de céruse, blanc de zinc, etc.).....	147.719	59.890.709	150.700	52.474.109
Alun.....	106.959	18.321.660	70.489	12.074.580
Couperose.....	12.807	361.802	10.133	272.789
Sulfate de cuivre.....	20.412	9.065.000	22.105	10.097.441
Sel raffiné.....	1.535.591	29.232.724	1.416.846	25.009.967
Sel gemme.....	277.443	4.293.981	279.184	3.687.740
Soufre.....	1.676	213.675	2.845	332.556
Brome.....	179	531.789	249	741.123
Carbure de calcium.....	"	"	3.000	932.400
Total.....		2.503.500.884		2.538.388.848

(\*) Produite par les hauts-fourneaux.

<i>Résumé des valeurs.</i>	1895	1896
	Valeur en francs	Valeur en francs
1 <sup>o</sup> Métaux.....	1.265.423.065	1.303.969.700
2 <sup>o</sup> Matières minérales indiquées.....	2.503.500.884	2.538.388.848
3 <sup>o</sup> Substances diverses non dénommées (estimation).....	25.900.000	25.900.000
Total général.....	3.794.823.949	3.868.258.608

(Extrait de The Mineral Industry, vol. V.)

## ÉTUDE

SUR

## LES GITES MINÉRAUX DE LA CORSE

Par M. NENTIEN, Ingénieur des Mines.

L'étude suivante est le résumé des observations que nous avons pu faire au cours de nombreuses tournées en Corse, exécutées dans la période s'étendant de 1887 à 1893, soit pour le Service ordinaire, soit pour celui de la Carte géologique détaillée de la France.

Nous avons publié (Service de la Carte géologique) une première étude sur les roches éruptives et les terrains cristallophylliens de cette île; les renseignements qui suivent, d'un ordre plutôt pratique, s'appliquent plus particulièrement à des faits intéressants surtout l'industrie minérale, et à ce titre ont leur place mieux marquée dans les *Annales des Mines*.

Avant de passer à la description des divers gisements que renferme la Corse, nous croyons utile de donner brièvement l'esquisse géologique de ce pays (\*).

Divisions naturelles de la Corse. — La Corse se divise en deux grandes régions naturelles tout à fait distinctes, limitées par une ligne légèrement courbe allant de l'embouchure du Regino (tour de Lozari) à la marine de

(\*) Voir, pour plus de détails, la notice qui sera prochainement publiée par le Service de la Carte géologique détaillée de la France, ainsi que la Carte géologique au  $\frac{1}{320.000}$  déjà publiée (Baudry, 1897).

Favone, au sud de Solenzara, et passant un peu à l'ouest de Corte. La région située au nord-est de cette ligne fait partie de la zone alpine, elle renferme la presque totalité des terrains sédimentaires; celle située à l'ouest et au sud-ouest appartient, au contraire, à la zone hercynienne, elle est surtout constituée par des roches granitiques et porphyriques et ne présente qu'accidentellement des dépôts sédimentaires.

*Zone alpine.* — La région du nord-est (Banda di Dentro) regarde vers l'Italie, avec laquelle elle a les plus grandes analogies, les terrains dont elle est constituée se retrouvant plus ou moins développés dans les diverses îles de l'Archipel Toscan et sur le littoral de la Ligurie et de la Toscane. La plus grande partie de cette étendue est occupée par une formation très puissante, 1.500 mètres au moins, comprenant de la base au sommet des *gneiss*, des *schistes sériciteux*, des *cipolins*, et des *schistes et quartzites amphiboliques et glaucophaniques*, très chargés d'épidote et de chlorite, et qui sert de substratum à toutes les formations sédimentaires.

Ces schistes, qui ont été soumis à un métamorphisme intense avec abondant développement d'albite, d'épidote, de chlorite, etc., d'origine secondaire, et renferment des variétés minéralogiques intéressantes (*roches à glaucophane*, à *riebeckite*, à *lawsonite*), s'appuient eux-mêmes du côté de l'ouest sur une large bande de *protogine* à éléments clastiques, gneissique sur ses bords par laminage, qu'il y a également lieu de rattacher à la zone alpine, et dont la venue est postérieure à la formation de ces schistes, puisqu'elle les a relevés en beaucoup d'endroits et qu'elle en empâte souvent des fragments.

L'âge du complexe des schistes, cipolins et quartzites, paraît être présilurien, encore bien qu'aucune preuve directe ne puisse en être cherchée en Corse; c'est surtout l'analogie avec les îles voisines et plus particulière-

ment avec la Sardaigne où des terrains semblables sont recouverts en stratification discordante par des terrains siluriens fossilifères, qu'on peut invoquer à l'appui de cette opinion.

En Corse, le terrain le plus ancien en contact avec ces schistes et quartzites est constitué par un calcaire compact non fossilifère, rapporté avec doute au *carboniférien*, par analogie avec un calcaire semblable fossilifère de la côte nord-occidentale. Ce calcaire paraît recouvrir les schistes amphiboliques et peut être observé aux environs de Saint-Florent et en quelques rares points de l'arrondissement de Corte.

Un étage *permo-triasique* assez développé dans l'arrondissement de Corte, entre cette ville et Ponte-Leccia, et plus réduit aux environs de Saint-Florent, manque rarement à la base des terrains secondaires; il consiste en schistes argileux bariolés, en grès verdâtres ou rouges, que recouvre par places un poudingue à grands éléments, visible surtout dans la vallée moyenne du Golo.

Sur ces terrains repose une formation calcaire et dolomitique toujours assez peu puissante et consistant en *cargneules* de teinte jaune ocreuse, souvent accompagnées d'argile de même couleur paraissant provenir de leur altération superficielle; en *calcaires dolomitiques* cloisonnés; enfin en calcaires plus compacts. Les parties intérieure et moyenne de la formation renferment en un ou deux endroits des lentilles de gypse, elles ressemblent de tous points aux *cargneules* gypseuses constituant la partie supérieure du trias des Alpes-Maritimes (environs de Guillaume, de Saint-Sauveur, de Sospel, de Breil, etc.) et doivent être considérées comme faisant partie de cet étage.

Quant au calcaire compact non fossilifère qui couronne la formation et dont l'épaisseur atteint au maximum 58 mètres, il a été rapporté avec doute à l'*infralias*.

Les terrains jurassiques et créacés font entièrement défaut en Corse ; cette île paraît donc être restée constamment émergée pendant ces deux périodes géologiques.

Un étage *éocène* très important, dont l'épaisseur est d'ailleurs difficile à fixer à cause des nombreux plissements qui l'affectent, mais qui paraît dans bien des cas supérieure à 200 mètres, recouvre le précédent. Cet éocène, qui suffirait à lui seul par sa nature à donner à cette région son faciès alpin, consiste à la base en calcaires nummulitiques moyennement développés que surmonte une formation schisto-gréseuse avec parfois empreintes de fucoides, en tout semblable au *Flysch alpin* des Alpes-Maritimes. Comme sur le continent, ces schistes et grès sont eux-mêmes recouverts par un poudingue quartzeux à éléments souvent assez gros et qui prend une importance de plus en plus grande au fur et à mesure que l'on s'avance vers le sud.

Cet éocène forme une bande développée le long du sillon central de l'île, entre la protogine à l'ouest et les schistes lustrés à l'est, et peut se suivre presque sans interruption, sauf entre le Tavignano et la rivière d'Abatesco, depuis l'embouchure du Régino jusqu'au sud du port de Favone. Dans cette bande centrale, il atteint en plusieurs endroits (Asinao, Venaco) une altitude supérieure à 1.800 mètres.

On retrouve ces terrains beaucoup moins développés à l'extrémité du cap Corse, près de Macinaggio ; dans le petit bassin fermé de Saint-Florent ; près de Linguizetta ; entre Favone et Conca ; enfin à la pointe de la Chiappa, près de Porto-Vecchio, qui constitue leur limite sud en Corse.

Ces terrains, surtout dans la bande centrale définie ci-dessus, ont été fortement bouleversés par d'importantes éruptions diabasiques dont il sera parlé plus loin.

L'éocène est recouvert à son tour en deux endroits, dans le bassin de Saint-Florent, et sur la côte orientale entre l'étang d'Urbino et le phare d'Alistro, par une *formation miocène* à faciès alpin également bien net, et constituée par des calcaires, des grès calcaires (*mollasse*) et des sables, très fossilifères, sauf le haut de l'étage. Un petit flot du même terrain où sont seulement représentés les deux termes inférieurs de cette série existe tout au sud de l'île et forme le petit bassin de Bonifacio. En ce point, la mollasse miocène repose directement sur le granite ou la granulite.

Enfin on observe en un seul point, près d'Aleria, un dépôt *pliocène* dont l'importance est tout à fait secondaire.

Des *dépôts glaciaires* avec, localement, des *brèches osseuses*, recouvrent en quelques endroits de l'intérieur et surtout du littoral, les diverses formations énumérées ci-dessus.

Enfin des *alluvions modernes* se sont déposées au voisinage de l'embouchure des principaux fleuves, en même temps que des *cordons littoraux* se formaient en avant de la plaine alluviale, retenant ainsi les eaux de l'intérieur en de nombreux étangs ou lagunes, où, par mélange avec l'eau de la mer, elles deviennent saumâtres. Sous l'action éolienne, quelques *dunes* se sont aussi esquissées en deux ou trois points du littoral (pointe de Curza ; embouchure de l'Ostriconi), mais elles sont sans importance.

Les roches qui recourent ces terrains appartiennent toutes aux types ophiolitiques et forment, dans la suite des âges, trois séries récurrentes, dont les deux extrêmes surtout présentent des analogies frappantes. Ce sont :

A la base, des roches vertes constituées par des *serpentes à diallage et à bastite*, visiblement éruptives, en relation immédiate avec des roches (*péridotites, ther-*

zolites) où l'olivine domine, et dont elles dérivent par simple altération de ce dernier minéral. Ces serpentines et les péridotites qui leur sont associées sont parfois recoupées par des filons, peu abondants d'ailleurs, de *diallagites*, de *norites albitiques* à grands éléments, qui n'ont d'autre importance que l'analogie qu'elles établissent au point de vue de la récurrence avec les roches de la série éocène.

Ces serpentines et péridotites ont recoupé les schistes lustrés et amphiboliques présiluriens, et nous croyons que leur venue au jour a suivi d'assez près la formation de ces schistes; dans tous les cas, elles ne traversent ni ne soulèvent nulle part les terrains dont le dépôt est postérieur à celui de ces schistes.

La seconde série de roches vertes est la moins complète, elle ne comporte qu'un seul terme constitué par des *euphotides* généralement plus ou moins schisteuses et fort analogues à celles des Alpes (mont Viso). Elles forment des nappes plus ou moins étendues à la surface des schistes présiluriens et des roches ophiolitiques de la première série, et ne sont nulle part recouvertes par aucune autre formation (roche ou sédiment) qui permette d'assigner à leur âge une limite supérieure. Leur analogie avec les roches similaires des Alpes Cottiennes nous porte à croire que ces euphotides sont d'âge triasique. A leur voisinage les schistes amphiboliques sont souvent imprégnés de cristaux d'albite à contours arrondis et spongieux à la façon du dipyre, dus vraisemblablement à des actions d'un métamorphisme spécial.

La troisième série comprend, comme la première, des *serpentines* et des roches associées (*diabases*, *gabbros*, *norites*), qui pour une partie au moins leur paraissent légèrement postérieures. Ces roches ont recoupé et bouleversé les assises éocènes, au moins celles de la base.

Elles présentent des variétés pétrographiques assez nombreuses résultant d'une part de la présence ou de l'absence de l'olivine, et d'autre part des conditions différentes de leur mode de gisement. A l'inverse de ce qui a lieu dans la première série, la présence de l'olivine est plutôt l'exception que la règle; cela explique aussi sans doute pourquoi les serpentines sont beaucoup moins abondamment développées que dans la première série. Pour toutes ces roches, qu'elles renferment ou non de l'olivine, il semble qu'il y a une relation entre la nature du bisilicate, les dimensions des éléments constitutifs et le mode de gisement. Ainsi, dans les variétés affectant le faciès massif ou de profondeur auxquelles appartiennent presque toutes les roches à grands éléments, le bisilicate est normalement du diallage et plus rarement un pyroxène rhombique (*gabbros*, *norites*); celles du type filonien sont, au contraire, des diabases franches, où le diallage est remplacé par de l'augite, en même temps que les éléments sont plus petits et la structure ophitique très développée.

Ces roches ophiolitiques éocènes sont, en Corse comme en Italie, en relation avec de nombreux *gisements cuprifères* qui en jalonnent pour ainsi dire les lignes de contact.

*Zone hercynienne.* — A la zone hercynienne ou plus exactement à l'apophyse que forme cette zone dans le sud-ouest de l'Europe (partie médiane de l'Espagne, Galice, Portugal) appartient la région ouest et sud-ouest de la Corse (Banda di Fuori, ou région de l'au-delà des monts, par rapport à l'Italie).

Si l'on en excepte quelques lambeaux de terrain *carbonifère*, cette région ne contient en fait que des roches des types granitiques, granulitiques et porphyriques. A part cela, que la granulite stannifère ou à mica blanc y fait absolument défaut, elle ressemble donc beaucoup au Pla-

teau central, qui, lui, fait partie de la zone hercynienne proprement dite (\*).

Le *granite* et la *granulite* y sont de beaucoup les roches les plus abondantes et se partagent à peu près par moitié l'étendue figurée comme granitique sur les anciennes cartes géologiques.

Le *granite* présente de belles variétés *porphyroïdes*, il renferme souvent de l'amphibole en même temps que du mica, et en proportion souvent assez abondante pour lui mériter la dénomination de *granite à amphibole*. Dans certains cas, le quartz fait défaut en même temps que le feldspath devient presque exclusivement potassique et la roche passe à la *syénite*. L'amphibole dans ce dernier cas est fréquemment transformée en chlorite et épidote par actions secondaires.

Les variétés de granite passant à la granulite par suite d'une tendance du quartz à s'individualiser sont très abondantes et rendent souvent difficile l'attribution à l'une ou l'autre de ces roches de massifs parfois étendus.

Enfin le granite renferme fréquemment, sous forme d'*enclaves*, des roches micacées et amphiboliques, qui sont des produits de formation antérieure à sa consolidation et qui, noyés dans le magma, n'ont pas été complètement refondus.

(\*) Voir à ce sujet l'étude d'ensemble faite par M. M. Bertrand : *Sur la distribution géographique des roches éruptives en Europe* (Bull. Soc. géolog. Fr., 3<sup>e</sup> série, t. XVI, 1888).

Les courbes figurées sur les cartes à très petite échelle jointes à cette étude devraient être, selon nous, légèrement retouchées en ce qui concerne la Corse et la Sardaigne : d'une part, en effet, l'apophyse hercynienne ne s'étend pas sur toute la Corse, et le tiers du nord-est est à rapporter sûrement à la zone alpine ; d'autre part, tandis qu'en Corse ces deux zones sont nettement distinctes, en Sardaigne elles chevauchent l'une sur l'autre sur presque toute l'étendue de l'île, la partie granitique de l'est qui fait suite à celle de l'ouest de la Corse étant à rapporter à la zone hercynienne, tandis que les formations tertiaires et les roches volcaniques d'Alghero, du Monte-Ferru, du golfe d'Orosei, d'Oristano, des îles Santo-Pietro et Sant'Antioco, font partie de la zone alpine.

Nous n'avons d'ailleurs aucune notion exacte sur l'âge du granite, ou plutôt sur les différents âges, car il est probable que toute la masse granitique ne correspond pas à une seule et même venue (\*).

La *granulite* paraît partout postérieure au granite, bien que son âge reste aussi pour nous indéterminé. Il ne semble d'ailleurs pas qu'il y ait en Corse, la protogine mise à part, de granulite plus récente que la fin du dévonien. On ne la voit dans tous les cas nulle part affecter les rares couches carbonifères de la région du sud-ouest.

Au point de vue purement pétrographique, la granulite de Corse présente quelques variétés intéressantes, notamment les *variétés sodiques à anorthose, riebeckite et ægyrine*, où les minéraux rares sont fréquents (astrophyllite, zircon, fluorine, etc.). Ces roches, rares partout ailleurs, sont relativement abondantes en Corse, notamment dans le nord-ouest, aussi bien sous le type massif que sous le faciès filonien (aplite).

Les *granulites du type stannifère*, soit à mica blanc et tourmaline, sont à peu près inconnues en Corse.

Le type *aplitique* existe un peu partout et forme des filons minces indifféremment dans le granite et dans la granulite normale, il correspond donc à une venue postérieure à la granulite massive.

La série des *microgranulites* et des *porphyres* est bien représentée en Corse, et toutes les variétés, sauf peut-être celle du porphyre quartzifère (type permien de l'Estérel), s'y trouvent en abondance sous les formes filoniennes et

(\*) Nous ne disons pas venue *au jour*, parce que, pour cette roche, comme d'ailleurs pour une bonne partie de la granulite massive, il paraît probable que la consolidation a eu lieu en profondeur et que ces roches n'ont affleuré à la surface qu'à la suite de soulèvements postérieurs suivis de dénudations considérables des terrains formant à ce moment la croûte superficielle. Par contre, la granulite en filons (aplite) paraît être réellement venue au jour de même que les microgranulites et les porphyres, dont un certain nombre se sont visiblement épanchés en nappes plus ou moins puissantes.

d'épanchement. Ces diverses roches, qui correspondent sans doute à plusieurs venues distinctes, sont toutes, en effet, probablement antérieures au Permien.

Les *microgranulites franches* sont localisées dans les massifs granitiques et granulitiques et paraissent les plus anciennes; nous ne les connaissons nulle part recoupant le carbonifère. Il n'en est plus de même des variétés *micropegmatoïdes*, des *micropegmatites globulaires*, des *pyromérides*, des *porphyres pétrosiliceux rubanés*, roches entre lesquelles on trouve tous les passages et qui, ayant à très peu près la même composition chimique, ne diffèrent plus guère entre elles que par les conditions variables dans lesquelles a eu lieu leur apparition au jour, et notamment la vitesse plus ou moins grande du refroidissement de leurs coulées et de leurs filons.

Tous ces derniers types à partir des microgranulites globulaires ont nettement recoupé le carbonifère où elles forment des filons et qu'elles recouvrent en coulées souvent importantes. Il existe même au milieu d'elles, accessoirement il est vrai, des roches qui paraissent voisines des *orthophyres* du Culm.

La région de Corse où ces roches sont plus particulièrement localisées est le nord-ouest, soit la partie comprise au nord du golfe de Porto. Elles s'élèvent jusqu'à une très grande hauteur, puisqu'elles forment la presque totalité de la masse des cimes culminantes (Monte-Cinto, Monte-Padro, Paglia-Orba) (\*).

Les dernières venues de porphyre pétrosiliceux paraissent avoir alterné avec des éruptions plus basiques de *porphyrites augitiques et amphiboliques* et s'être terminées par la venue de roches de plus en plus basiques

(\*) Il n'est pas inutile de rappeler ici que les autres cimes culminantes de l'île, le Monte-Rotondo, le Monte-d'Oro, les montagnes de Ghisoni et de Verde, sont d'une tout autre venue (protogine) et appartiennent à la zone alpine des plissements.

et passant à de véritables *diabases*. Ces roches ne nous sont connues que sous la forme filonienne, mais les filons en sont nombreux dans toute l'étendue de la zone granitique. Dans l'ensemble ces roches n'ont qu'une masse insignifiante. Elles sont probablement les derniers termes de la série porphyrique, soit le produit des dernières éruptions des laccolites d'où sont issues toutes ces roches, des microgranulites et peut-être même des aplites aux porphyrites diabasiques.

En dehors de ces roches dont l'ordre d'apparition, sinon l'âge exact, paraît bien déterminé, il existe en Corse des roches peu abondantes, oscillant du *gabbro anorthique* à la *diorite labradorique*, où le feldspath est toujours un plagioclase, et dont l'âge, même relatif, nous échappe. Elles forment généralement des filons ou des dykes peu étendus au milieu du granite ou de la granulite et ne sont en relation avec aucune autre roche ou aucune formation, et, par suite, la question de leur âge reste pour nous très obscure. Dans tous les cas, elles sont très distinctes des roches basiques de la série ophiolitique éocène. Elles ne présentent d'ailleurs qu'un intérêt purement spéculatif en raison des variétés vraiment curieuses au point de vue pétrographique qu'elles renferment et dont la plus connue est la *diorite orbiculaire* de Tallano.

En dehors des roches proprement dites, les *terrains cristallophylliens*, *gneiss* et *micaschistes*, présentent dans la zone hercynienne un certain développement. Toutefois il est fort probable que les massifs qu'on en observe maintenant ne sont plus que de faibles lambeaux de ceux qui existaient avant les dénudations en masse qui ont laissé apparaître les roches de fond telles que le granite et la granulite. Ces gneiss et ces micaschistes sont, sans doute, les témoins des roches les plus anciennes de l'île, au moins de celles dont les affleurements sont visibles. Elles sont d'ailleurs recoupées et pénétrées par des

filons granulitiques qui développent, surtout dans les micaschistes, des *minéraux de métamorphisme* caractéristiques.

Quant aux terrains sédimentaires de la zone hercynienne, ils se bornent à quelques bribes insignifiantes de *terrain carbonifère*, constitués par des schistes charbonneux et des calcaires, avec couches d'anhracite et quelques fossiles, recouverts par une formation assez épaisse de grès et de poudingues quartzeux. Ces terrains sont surtout développés dans le nord-ouest de l'île et notamment aux environs d'Osani, de Girolata, d'Asco et de Mansoléo. Ils paraissent appartenir pour la presque totalité au carboniférien inférieur. Cette formation, épaisse au maximum de 200 mètres, repose en stratification concordante sur des schistes argilo-quartzeux, sans fossiles, que nous avons cru devoir séparer du carboniférien, mais dont l'âge exact nous échappe.

## MINES.

### Combustibles minéraux.

*Mine d'Osani.* — Le seul combustible minéral rencontré jusqu'ici en Corse est une houille anthraciteuse dont il n'existe d'ailleurs qu'un seul gisement tant soit peu important, celui d'Osani, sur la côte occidentale (V. Pl. V). Ce gisement a été concédé le 6 juin 1889; l'étendue de la concession est de 392 hectares.

Le terrain houiller occupe la base de la petite presqu'île d'Osani, entre les masses porphyriques du Monte-Sinino à l'ouest et les schistes quartzeux anciens qui s'étendent à l'est de la route nationale n° 199 d'Ajaccio à Calvi. Ce terrain est surtout développé sur le versant sud de cette presqu'île, dans l'espace triangulaire compris entre Bocca-Croce au nord, le golfe de Lignaggia au sud-ouest, et la baie de Gradella au sud-est (*fig. 1*).

La base de l'étage houiller est constituée par des schistes noirs charbonneux renfermant par places des lentilles, tantôt quartzieuses, tantôt calcaires, peu épaisses et discontinues. Ces schistes sont recouverts par une épaisse formation de grès tufacés quartzeux, de teinte

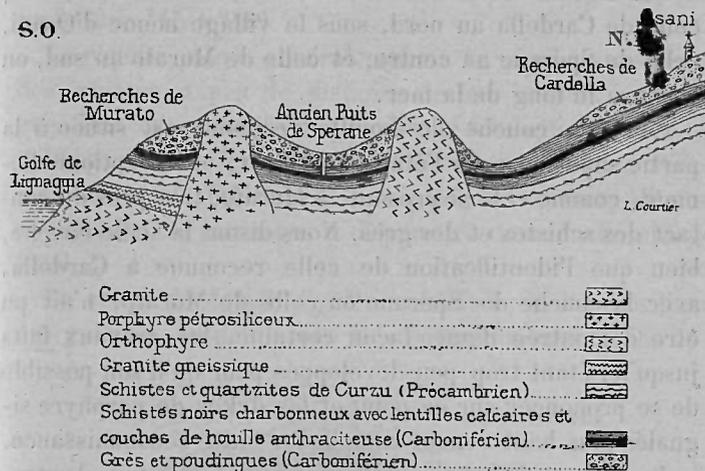


FIG. 1. — Coupe N. E. — S. O. du bassin houiller d'Osani.

gris verdâtre, compacts et à grains fins sous le village d'Osani, mais dont les éléments augmentent de grosseur au fur et à mesure qu'on s'avance vers le sud. Le tout est recoupé par de nombreux filons de porphyre pétrosiliceux et d'orthophyre. C'est à ces variétés qu'appartiennent les coulées en nappes épaisses qui se sont épanchées dans la direction du nord-ouest et qui forment la masse du Monte-Sinino et les abrupts de la côte sud du golfe de Girolata.

Le pendage général des assises houillères est de 30 à 50° vers l'O. 22° S. L'épaisseur des schistes de la base paraît inférieure à 50 mètres; quant aux grès et poudingues couronnant la formation, leur puissance varie de 60 mètres

environ sous Osani, à 150 mètres et plus au bord du golfe de Lignaggia.

Deux dykes de roches porphyriques parallèles, plus particulièrement importants, orientés à peu près selon la ligne de plus grande pente des couches, divisent ce petit bassin houiller en trois bandes isolées les unes des autres, celle de Cardella au nord, sous le village même d'Osani, celle de Sperane au centre, et celle de Murato au sud, en bordure le long de la mer.

La seule couche de houille reconnue est située à la partie supérieure de l'étage schisteux, et exceptionnellement, comme cela se présente à Murato, très près du contact des schistes et des grès. Nous disons la seule couche, bien que l'identification de celle reconnue à Cardella, avec la couche de Sperane ou celle de Murato, n'ait pu être démontrée d'une façon certaine, les travaux faits jusqu'ici étant trop peu développés pour qu'il soit possible de se prononcer sur ce point et les dykes de porphyre signalés plus haut venant compliquer cette reconnaissance.

Jusqu'à ce jour en effet, il n'a pas été fait de travaux d'exploitation proprement dits, mais seulement des recherches qui ont précédé l'octroi de la concession; c'est donc seulement d'après ces travaux qu'on peut juger de la valeur du gisement d'Osani.

Les premières recherches pour houille faites dans cette région datent des années 1843 et suivantes. Le principal ouvrage qui y fut fait alors consistait en un puits de 40 mètres ouvert dans la bande centrale de Sperane et qui rencontra à cette profondeur une couche d'antracite de 1 mètre de puissance, après avoir traversé 25 mètres de grès et 15 mètres de schistes. Nous ne possédons pas sur ces premières recherches de renseignements plus précis.

Les travaux exécutés en 1887-1888 à Cardella et à Murato nous sont mieux connus. Ils consistent :

A Cardella, soit à quelque cent mètres au sud du village d'Osani, en une série de recherches échelonnées le long du coteau, puits peu profonds ou galeries de niveau, d'un développement peu considérable, qui ont permis de suivre la couche sur une longueur de 250 à 300 mètres, comptés selon la pente naturelle du terrain qui est peu accentuée (15 à 20°).

La couche, située généralement à la partie supérieure des schistes, à peu de distance de leur contact avec les grès tufacés, présente une épaisseur totale qui ne dépasse guère 1<sup>m</sup>,50 et est souvent beaucoup moindre. Vers les recherches inférieures, au pied du versant, elle se dédouble et ne tarde pas à disparaître dans un brouillage local.

La coupe de détail (*fig. 2*), relevée à l'entrée de l'une des galeries, en donne une idée suffisamment exacte.

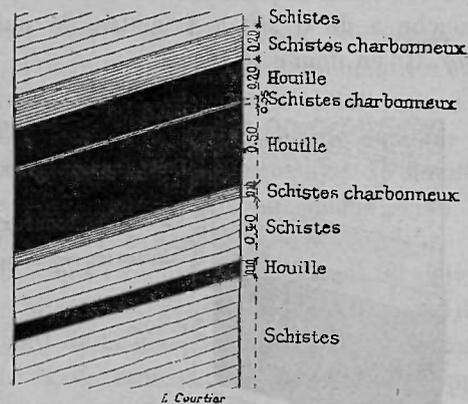


FIG. 2. — Coupe de la couche à la troisième attaque de Cardella. Mine d'Osani.

La houille et surtout les schistes charbonneux encaissants sont parfois assez pyriteux.

A l'inverse de ce qui a lieu à Murato, où les empreintes de plantes abondent, la houille et les schistes de Cardella n'en renferment que très exceptionnellement.

A Murato, les schistes houillers sont recouverts par un poudingue à éléments quartzeux arrondis de toutes grosseurs qui paraît bien l'équivalent des grès verts tufacés observés à Cardella ; mais, comme entre ces deux points il existe deux dykes importants de roches porphyriques qui interrompent la continuité des couches, il est difficile d'établir s'il y a ou non concordance entre elles.

Les empreintes végétales (troncs de Sigillaires, de Lépidodendrons, frondes de *Sphenopteris*, de *Nevropteris*) y sont extrêmement abondantes, surtout dans les schistes au contact de la houille, elles sont malheureusement fort mal conservées et même la plupart du temps à peu près complètement indéterminables comme espèces.

Le pendage général des grès et des schistes au point d'attaque varie de 35 à 48° vers l'O. 25° S. ; comme à Cardella, les schistes sont parfois pyriteux, néanmoins la houille y est de bonne qualité.

La couche a de 0<sup>m</sup>,80 à 1 mètre de puissance ; la coupe (fig. 3) en donne le détail.

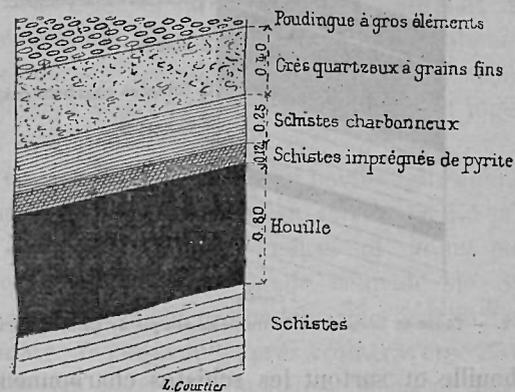


Fig. 3. — Coupe de la couche à Murato. — Mine d'Osani.

Ajoutons qu'à Murato, pas plus d'ailleurs qu'à Cardella, les recherches n'ont pénétré à une grande profondeur

dans la couche (un puits de 20 mètres de profondeur et une galerie en direction d'une trentaine de mètres) et ne peuvent par suite donner des indications bien précises sur son allure.

La houille d'Osani appartient aux variétés à courte flamme, elle se rapproche même plutôt de l'anthracite que de la houille proprement dite. La teneur en cendres du tout-venant au point où la couche est le plus compacte et le moins mélangée de nerfs schisteux ne paraît pas dépasser 12 p. 100.

Nous passons sous silence les quelques fouilles insignifiantes exécutées d'une part au bord de la baie de Lignaggia, au sud-ouest de Murato et d'autre part, au nord du col de Bocca-Croce, sur le versant du golfe de Girolata. Elles n'ont mis à découvert que des lambeaux de couches sans importance.

*Gisements divers de la région. — Galeria, Argentella.*

— Nous signalons pour mémoire seulement les recherches faites autrefois au sud du chemin de Galeria à la route nationale n° 199, dans une couche de schistes charbonneux présentant quelques minces lits de houille inutilisable ; ces recherches n'ont, en somme, rien donné et n'ont pas été poussées bien loin.

Les recherches exécutées pour plomb et cuivre par la Société des Mines d'Argentella, au nord du col de Bocca-Bassa, au bord de la mer, ont aussi rencontré des schistes charbonneux avec minces filets de houille appartenant indubitablement au même niveau, mais sans utilisation possible.

Poggio d'Oletta. — A citer également les fouilles faites autrefois au nord de Poggio d'Oletta, près de Saint-Florent, dans un petit lambeau de terrain constitué par des schistes charbonneux recouverts de grès quartzeux et d'un âge jusqu'ici mal connu (éocène?). Ces recherches

consistant en une galerie de niveau ouverte sur la rive droite du petit ruisseau de Mezzane, affluent du Fiuminale qui se jette dans la mer à Saint-Florent, étaient inaccessibles par suite de l'éboulement de la galerie quand nous les avons visitées en 1887 ; néanmoins nous avons encore pu voir dans les déblais quelques fragments de schistes charbonneux entremêlés de petits lits de combustible. D'après les renseignements que nous avons pu recueillir auprès d'ouvriers ayant travaillé à ces fouilles, la couche occupait à peu près le contact entre les schistes et les grès, elle avait de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,60 de puissance, mais était très impure, au point que sa combustion ne pouvait être entretenue que par l'addition de houille de bonne qualité. Il ressort d'ailleurs très clairement de la disposition géologique des lieux que l'étendue de la couche en ce point ne peut qu'être insignifiante et que ce gisement n'a aucune valeur industrielle.

*Palasca.* — Sous Palasca, à la limite de la bande gneissique de la Balagne et des terrains éocènes très développés à l'est, les travaux du chemin de fer ont mis à nu des schistes noirs charbonneux, qui renferment parfois de très minces filets d'un combustible qui est probablement du même âge que le précédent. Comme il n'y a pas été fait de recherches, nous ne citons ce gisement que pour mémoire.

*Ponte-Leccia.* — Il en est de même de la couche signalée par M. Hollande dans son ouvrage sur *la Géologie de la Corse*, comme existant dans le lit du Golo, à 3 kilomètres au nord de Ponte-Leccia, à la hauteur des mamelons Rodaggio, et qui, intercalée dans le poudingue de Francardo, aurait 0<sup>m</sup>,60 d'épaisseur. Ce combustible serait donc non de la houille, comme dans les gisements de la côte nord-ouest, mais du lignite, comme à Poggio d'Oletta et Palasca.

### Mines métalliques.

**Fer.** — Il n'existe en Corse qu'une seule mine de fer, celle de Farinole et Olmeta (\*), concédée le 27 juin 1849 (superficie de la concession, 1.075 hectares).

Cette mine est inexploitée depuis longtemps, elle n'a d'ailleurs jamais été l'objet de travaux sérieux d'exploitation.

Le minerai qu'on y rencontre est du fer oxydulé magnétique agissant énergiquement sur l'aiguille aimantée et renfermant probablement à une dose très faible du fer chromé. Il forme des lentilles plus ou moins épaisses et continues dans la serpentine présilurienne qui constitue presque exclusivement la masse des deux mamelons (703 et 769 de la carte d'État-major) situés au nord de Farinole.

(\*) Cette mine fut visitée en 1820 par Gueymard, qui en parle d'une façon assez détaillée. A cette époque, comme aujourd'hui, la mine était inexploitée, mais il existait déjà un assez grand nombre d'attaques peu profondes pouvant remonter, dit Gueymard, à une centaine d'années. Le minerai qui en a été extrait a peut-être servi à alimenter, pour une partie au moins, l'ancienne forge qui existait autrefois sous Olmeta, non loin de la marine de Negro, et qui était déjà ruinée à l'époque où cet ingénieur visita la Corse.

Les anciennes forges d'Orezza, du Fium'Alto, de Casalta, de Bucatojo, de Saint-Blaise et de Distendino, encore actives en 1820, ne traitaient que du minerai de l'île d'Elbe ; toutefois le minerai de Farinole aurait probablement pu y donner de bons résultats, moyennant certaines améliorations de détail dans le traitement. Voici en effet en quels termes en parle Gueymard :

« La mine de Farinole fut essayée il y a quelques années à l'ancienne forge de Murato. Elle donna des fers excellents, et qui surpassèrent toute attente : seulement le produit fut moins grand qu'avec celui de l'Elbe ; mais il ne faut l'attribuer qu'au mode de traitement qu'on faisait subir au minerai. En effet, ce minerai, plus riche que celui d'Elbe, est moins poreux. Comme on ne détruisait pas sa compacité, il en résultait que, dans la première opération, il se faisait beaucoup de coulères, qui ne pouvaient se réduire lors de la fusion. Il eût fallu chauffer le minerai, le jeter dans l'eau pour le fendiller, et le traiter ensuite comme celui de l'Elbe. »

Les travaux de recherches ont eu lieu en trois ou quatre points au nord et au sud du ravin marqué sur cette carte sous la dénomination de « Piano del Fiume » ; les plus importants sont ceux du sud, ce sont les seuls d'où il ait été extrait quelque peu de minerai marchand. La puissance du gisement varie de 0<sup>m</sup>,60 à 1<sup>m</sup>,50, mais elle est plus souvent voisine de 0<sup>m</sup>,80 et la couche est très discontinue.

Cette mine n'a guère été exploitée que pendant un an ou deux, depuis l'octroi de la concession, à l'époque où les hauts-fourneaux de Toga, près Bastia, et de Solenzara, aujourd'hui démolis, étaient encore en feu.

Le fer oxydulé est l'un des minéraux dont la présence est constante dans la serpentine-présilurienne ; en certains points du cap Corse, il y est tellement développé qu'il serait peut-être possible d'y trouver des gîtes comparables à celui de Farinole. Nous citons, pour le cas où on y voudrait tenter des recherches, le versant ouest de la crête séparant Barrettali et Canari, de Pietracorbara, et particulièrement les escarpements situés à l'ouest et au pied du Monte Alticcione.

Gueymard signale l'existence d'une mine de fer oligiste, plus ou moins mélangée de pyrite, en couche au milieu des schistes amphiboliques sous le village de Venzolasca et indique quels travaux il conviendrait de faire pour la reconnaître. Il ne semble pas que ses conseils aient été suivis, car nous n'avons aucune connaissance que des recherches sérieuses y aient été faites depuis (\*).

On rencontre aussi dans une tout autre région de la Corse, à Moca-Croce, près de Petreto-Bicchisano, des amas, assez importants, paraît-il, de fer oligiste au milieu du granite. Toutefois, comme nous ne les avons pas visités, nous n'en pouvons rien dire.

(\*) C'est de cette mine que provient l'échantillon du Muséum signalé par M. Lacroix comme renfermant de la riebeckite et de l'ægryrine.

**Manganèse.** — Il n'existe en Corse aucune mine concédée pour manganèse, mais des minerais de ce métal ont été rencontrés en plusieurs points.

Des recherches assez suivies ont eu lieu en effet, il y a une quinzaine d'années, dans la commune de Valle-di-Campoloro, au nord-est de Cervione, dans les schistes lustrés : elles ont mis à découvert une couche mince et sans continuité de minerai de manganèse (bioxyde hydraté), qui a été reconnue trop pauvre pour pouvoir être exploitée avantageusement (\*).

Dans ces dernières années, quelques recherches ont également eu lieu près du village de Bisinchi sur un gisement fort analogue. Le minerai qu'on en a extrait n'a pas paru non plus utilisable à cause de sa teneur élevée en silice.

M. Hollande cite de ce minerai d'autres gisements que nous ne connaissons pas ; l'un d'eux, le principal, paraît-il, serait situé dans le massif de Tende, à quelques kilomètres d'Ostriconi en un endroit d'accès facile ; un autre existerait au-dessus de Pietralba, dans la protogine ; d'autres encore à Furiani, à Murato, aux environs de Valle d'Alesani, de Tallone, etc.

**Chrome.** — Le fer chromé existe à titre de minéral accessoire dans les serpentines du cap Corse ; toutefois, en aucune localité, il ne paraît se présenter en amas suffisamment importants pour que l'exploitation en soit possible.

**Antimoine.** — Les mines d'antimoine sont les seules mines qui, en Corse, présentent une réelle importance. Il en existe trois concédées, toutes situées à l'extrémité

(\*) Gueymard signale ce gisement, qui lui était connu et sur lequel il fit même faire des fouilles qui amenèrent la découverte d'une « masse énorme de 20 quintaux métriques » et d'autres de moindre importance.

du cap Corse : ce sont du sud au nord les concessions de Luri-Castello (conçédée le 6 juillet 1863 ; 652 hectares), de Méria (conçédée le 10 mars 1858 et étendue le 31 juillet 1891 ; 464 hectares) et d'Ersa (conçédée le 9 août 1851 ; 222 hectares). Mais, en dehors des mines conçédées, on connaît d'autres filons de ce minerai dans les régions avoisinant ces concessions et qui établissent la continuité entre les divers gisements qu'on y exploite.

Au total, on peut dire que tout le versant est du cap Corse, compris entre son extrémité et la vallée de Cagnano, constitue pour ce minerai un seul et même champ de fractures, tous les filons qu'on y rencontre présentant entre eux la plus grande analogie.

La production totale des trois mines d'antimoine de la Corse a beaucoup varié dans les quinze dernières années, et elle a naturellement suivi les cours, qui ont eux-mêmes été fonction des demandes de l'industrie. Les prix extrêmes du minerai à 50 p. 100 d'antimoine métallique ont varié, dans cette période, de 150 francs à 600 francs (\*) la tonne.

Depuis 1890, la production annuelle moyenne de l'île a dépassé 1.500 tonnes de minerai marchand. Au surplus, nous donnons ci-contre un résumé graphique de la production totale de l'antimoine en Corse depuis l'année 1879.

La formation des filons d'antimoine sulfuré du cap Corse est probablement antérieure à l'apparition des serpentines et des roches ophiolitiques présiluriennes. En effet ces filons n'existent, à notre connaissance, que dans la partie la plus ancienne du complexe des schistes lustrés et amphiboliques, soit dans les schistes sériciteux infé-

(\*) L'emploi dans l'artillerie pour la fabrication des balles de quantités importantes d'antimoine a plus que triplé la valeur du minerai et a provoqué un peu partout la reprise d'un certain nombre de mines abandonnées ; il en est résulté naturellement dans ces dernières années un fléchissement des prix qui va en s'accroissant de plus en plus.

rieurs ; tout au plus atteignent-ils par places la zone des cipolins qui sépare ces schistes sériciteux des schistes amphiboliques verdâtres supérieurs. Dans tous les cas, nous n'en connaissons aucun exemple dans ces schistes amphiboliques. De plus, au contact de la serpentine, ils

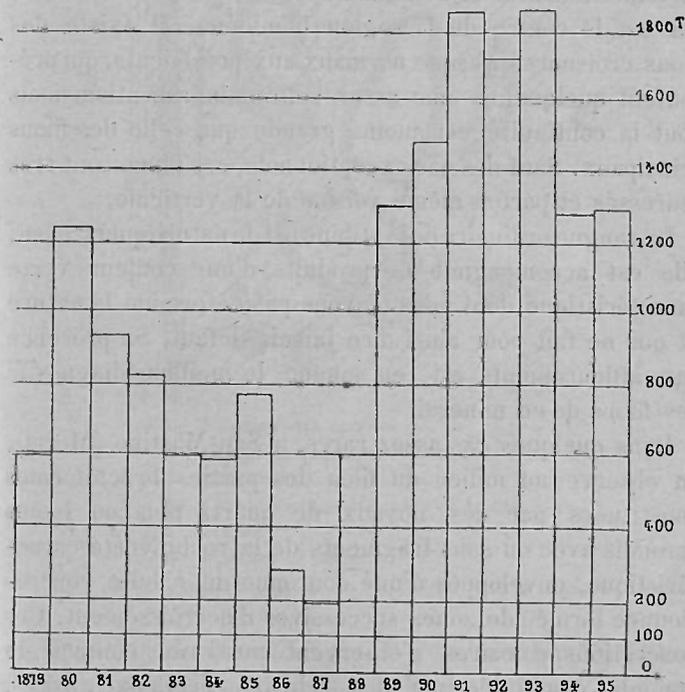


FIG. 4. — Tableau graphique donnant la production totale du minerai d'antimoine en Corse pendant la période de 1879-1895.

disparaissent sans laisser de traces, c'est donc par erreur que M. Hollande a cité cette roche comme une de celles où on trouve la stibine. Nous ne l'avons non plus jamais rencontré dans les euphotides schisteuses où l'a signalée cet auteur.

C'est donc exclusivement dans les schistes sériciteux, généralement entremêlés de calcschistes, qu'il faut diriger

les recherches de ce minerai, et de préférence dans les régions où ces schistes sont altérés.

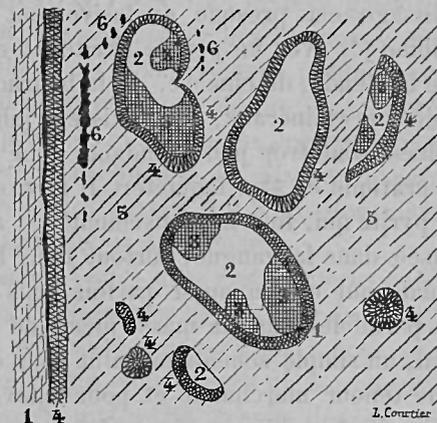
La plupart des filons de stibine sont orientés est-ouest avec des écarts au sud et au nord de cette direction qui ne dépassent qu'exceptionnellement 20°; toutefois, dans certaines localités et notamment dans la vallée de Méria, qui est le centre de la région filonienne, il existe des filons croiseurs, presque normaux aux précédents, qui présentent quelquefois une assez belle minéralisation, mais dont la continuité est moins grande que celle des filons principaux. Sauf des cas exceptionnels, ces filons sont très redressés et parfois même voisins de la verticale.

La gangue ordinaire de la stibine est de nature quartzeuse; elle est accompagnée de produits d'une couleur verte caractéristique dont nous n'avons pas déterminé la nature et qui ne fait pour ainsi dire jamais défaut. Sa présence aux affleurements est, en somme, le meilleur diagnostic des filons de ce minerai.

Dans quelques cas assez rares, à San-Martino (Méria), on observe au milieu du filon des parties bréchiiformes constituées par des noyaux de quartz plus ou moins arrondis avec ou sans fragments de la roche verte caractéristique, enveloppés d'une couronne de calcite concrétionnée formée de zones successives d'accroissement. Ces concrétions calcaires s'observent aussi au contact de l'éponte constituée par des schistes argileux altérés. Enfin la stibine, dont la venue est évidemment postérieure, remplit les vides laissés libres entre ces fragments (*fig. 5*).

La minéralisation de ces filons est très variable, toutefois c'est généralement au contact du mur qu'elle présente son maximum d'intensité, la gangue et les produits stériles étant plus particulièrement abondants du côté du toit. Il y a d'ailleurs une grande différence d'aspect entre les deux épontes: tandis que le toit est constitué par une ligne indécise et mal définie, le mur, au contraire, est

presque toujours très net. On observe parfois sur celui-ci des surfaces striées résultant du glissement des deux épontes l'une par rapport à l'autre, sur lesquelles le minerai forme des placages brillants et polis comme une glace.



- 1 Schistes des épontes  
2 Noyaux de quartz blanc laiteux  
3 Roche verte  
4 Couronnes concrétionnées de calcite  
5 Stibine  
6 Mouches de blende

FIG. 5. — Remplissage du filon à San-Martino. Mine de Méria.

L'épaisseur du remplissage est fort variable d'un filon à l'autre, et aussi pour un même filon selon le point considéré; on observe dans presque toutes les mines des colonnes d'enrichissement (*trombes* des mineurs corses) disposées à peu près selon les lignes des plus grandes pentes du filon. Le long de ces trombes, la puissance réduite peut atteindre jusqu'à 0<sup>m</sup>,50 et même exceptionnellement 0<sup>m</sup>,80 et dans ce cas le minerai est généralement massif, tandis que, dans les régions moyennes, elle se tient entre 8 et 12 centimètres en un ou plusieurs filets, et descend même souvent au-dessous de ce chiffre.

Il existe, en outre, des zones d'enrichissement ou d'appauvrissement dans le sens de la verticale et qui correspondent à des changements dans l'inclinaison du filon, les parties redressées étant les plus pauvres; toutefois, ces variations sont moins intenses que les premières.

Le remplissage est presque exclusivement constitué par de la stibine (\*) avec un peu de pyrite et exceptionnellement de la blende, du cinabre, de la bournonite.

Ces trois derniers minéraux, qui n'existent jamais qu'en mouches isolées, sont trop peu abondants pour qu'il y ait lieu dans la pratique de s'en inquiéter. Il n'en est pas de même de la pyrite qui, fort heureusement, est assez souvent condensée dans la gangue, surtout dans les parties verdâtres, mais qui existe aussi parfois sous forme de minces filets parallèles dans la masse même de la stibine.

En général, un simple scheidage suffit pour obtenir du minerai à une teneur marchande et pour enlever la plus grande partie de la pyrite, mais certaines variétés de minerai où la stibine est intimement mélangée à la gangue exigent une pulvérisation presque complète, ce qui ne va pas sans entraîner de grandes pertes et une dépense en main-d'œuvre inutile.

Une autre espèce de minerai particulièrement difficile à enrichir est celle qui existe en minces filets formant des diramations entre les feuillets des schistes du toit; dans ce cas le sulfure d'antimoine est souvent disposé en rosettes constituées par de simples placages sans épaisseur (*fiore, fioracce* des mineurs corses).

Dans l'un et l'autre cas, la proportion du minerai dit de seconde qualité, soit celui tenant de 18 à 25 p. 100 d'antimoine métallique, peut devenir très importante, au grand détriment de la vente, car ces minerais à faible

(\*) L'antimoine oxydé, sénarmonite et valentinite, ne se rencontre que rarement et seulement au voisinage des affleurements.

teneur sont presque sans valeur, et leur écoulement est difficile. On a bien essayé autrefois d'en isoler le minerai par une liquation dans des creusets spéciaux; la stibine étant très fusible, cette opération paraît facile de prime abord; malheureusement, pour peu que la teneur s'abaisse au-dessous de 10 à 12 p. 100, la plus grande partie du minerai fondu, restant autour des fragments stériles qui en sont imbibés, est définitivement perdue. Aussi a-t-on renoncé depuis longtemps à cette pratique, et préfère-t-on aujourd'hui pousser le scheidage jusqu'à la pulvérisation complète du minerai impur, au risque d'augmenter la main-d'œuvre et les pertes par suite des manipulations plus nombreuses des parties tenues.

On a bien aussi tenté, dans ces dernières années, d'utiliser, pour l'enrichissement méthodique de ces poussières, des cribles à secousses actionnés soit à bras, soit mécaniquement. Dans cette voie encore on n'a que très imparfaitement réussi, malgré la grande densité du minerai d'antimoine (4,6), sa forme en lamelles ou en fines aiguilles étant un obstacle à sa séparation d'avec les parties stériles, et, d'autre part, la pyrite qui est un peu plus lourde que la stibine restant dans le minerai.

Le sulfure d'antimoine de première catégorie, d'une teneur variable de 40 à 50 p. 100 de métal, et exceptionnellement dans les parties les plus riches de 55 p. 100 est fourni surtout par les variétés massives formées de longues baguettes ou de lamelles largement cristallisées. Pour une bonne partie de cette catégorie, le principal triage peut être fait dans la mine même, lors de l'abatage, à la condition de bien dégager la tranche du filon et d'étendre des sacs sous la sous-cave au moment de la tombée pour perdre le moins possible de minerai et éviter son mélange avec les stériles.

Ces généralités établies, nous allons passer en revue les trois mines concédées du cap Corse, en signalant les

conditions spéciales à chacune d'elles; nous dirons ensuite un mot des filons situés en dehors de ces concessions qui ont été l'objet de travaux de recherches.

*Mine de Luri-Castello.* — Le filon principal situé à Castello, près du thalweg de la vallée de Luri, a d'abord été exploité par galeries de niveau; mais, l'amont-pendage étant peu important, on a dû recourir à l'exploitation par puits. Aujourd'hui il existe six étages différents, à peu près complètement dépilés, sauf l'inférieur qui a atteint la profondeur de 125 mètres.

Le filon, qui est orienté sensiblement nord-ouest, a été dépilé aux étages supérieurs sur une longueur moyenne de 200 à 300 mètres, sauf au niveau de la galerie d'écoulement Giuseppe, qui a un développement total de 625 mètres, mais dont une bonne partie est dans le stérile. Il s'en faut d'ailleurs que toute cette étendue ait été minéralisée; mais, à côté de parties stériles ou très pauvres, il existe dans la région moyenne une colonne, qui, aux divers étages, s'est montrée d'une remarquable puissance (parfois plus d'un mètre de minerai massif) et qui est dénommée « La Trombe » par les ouvriers mineurs.

En plusieurs endroits et notamment aux étages inférieurs, le filon est souvent dédoublé en deux veines distantes d'une dizaine de mètres.

Le minerai à larges facettes est assez rare à cette mine, c'est plutôt la variété fibreuse massive qui domine.

Nous ne connaissons aucun filon de stibine à l'est de celui de Castello; en revanche, il en existe de nombreux au nord-ouest, le long de la route qui monte au col de Santa-Lucia, et sur lesquels il a été fait des travaux de recherches plus ou moins fructueux. Les plus importants sont ceux de Bonafalchière, tout au bord de la susdite route, et celui de Spergane, au bas du ravin descendant du col de Santa-Lucia et sur la rive gauche du ruisseau qui en occupe le fond. Le filon de Spergane est d'ailleurs

en dehors de la concession de Luri-Castello, mais très près de sa limite nord; de 1880 à 1887, il y a été fait des travaux de recherches assez étendus, d'où on a extrait environ un millier de tonnes de beau minerai. Les travaux, étant surtout développés en contre-bas du ruisseau, sont aujourd'hui complètement noyés. La direction et le pendage du filon de Spergane portent à croire qu'on a affaire au prolongement de celui de Castello.

La production totale de la mine de Luri pour les quinze dernières années a été d'environ 4.135 tonnes de minerai marchand.

*Mine de Méria.* — La concession de Méria, qui occupe le centre du champ filonien du cap Corse, est celle où l'on observe la plus grande abondance de filons. Ceux-ci sont surtout distribués dans la partie moyenne de la vallée, entre le village de Méria et le hameau de Pastina qui en est une dépendance, et sur le versant de droite du ruisseau de Méria.

C'est, du reste, près de Pastina, et un peu au sud de cette localité que les premiers travaux ont été faits: situés dans la petite vallée secondaire de San-Martino, au point où elle se bifurque, les anciens travaux de Fossato ont surtout été développés en contre-bas du ruisseau voisin. Aussi l'abondance des eaux, jointe aux faibles moyens d'exhaure mis en œuvre, a-t-elle obligé à abandonner cette mine, alors qu'elle était en plein rapport. Depuis cette époque, ces travaux sont noyés, mais on s'occupe actuellement de les reprendre par une galerie d'écoulement qui rejoindra celle de San-Martino, située plus au nord, juste en face de Pastina, et où un filon, prolongement de celui de Fossato et aussi exploité par les anciens (puits de Vétrice, de la Rota, etc.), a été l'objet de travaux importants de la part de l'exploitant actuel.

Dans toute cette région de Fossato San-Martino, les variétés à larges facettes, donnant un minerai dépassant

souvent 50 p. 100 par simple scheidage, dominant. C'est là aussi qu'on a trouvé autrefois, d'ailleurs toujours en faible quantité, du cinabre mélangé à la stibine ; mais on ne rencontre plus guère aujourd'hui ce minerai de mercure. La direction du filon de Fossato-San-Martino est à peu près N. O. — S. E. ; le pendage assez variable, mais souvent inférieur à 45°, est vers le sud-ouest.

Un autre centre d'exploitation plus récent, mais qui pendant plusieurs années a alimenté à lui seul la production de la mine de Méria, est celui de Vallone, situé plus à l'est, à flanc de coteau, dans le bassin du petit ruisseau de Fiumicello. Il présente sur le précédent le grand avantage qu'il pourra être exploité en vallée pendant longtemps encore, grâce au travers-bancs Orengea, long de 432 mètres, qui a été percé à une quarantaine de mètres sous les régions déjà défilées.

Le filon a été suivi à Vallone sur une longueur de plus de 700 mètres ; il s'en faut toutefois de beaucoup qu'il soit minéralisé sur toute cette étendue, mais il présente trois ou quatre colonnes riches qui ont suffi à alimenter l'exploitation pendant de longues années. Son orientation est à peu près est-ouest, et son pendage vers le sud assez variable ; le filon est souvent redressé sous des inclinaisons qui dépassent 80°. Le minerai bacillaire et en grande lamelles de Fossato San-Martino est très rare à Vallone, ce sont plutôt les variétés aciculaires et feutrées qui y dominent (\*).

(\* Nous ne pouvons songer à citer tous les filons sur lesquels il a été fait des recherches plus ou moins fructueuses dans la concession de Méria ou dans les terrains avoisinants, nous citerons seulement :

1° Celui de Valle-alla-Vena à environ 1.200 mètres au sud-ouest de San-Martino, qui s'est présenté bien minéralisé près de son affleurement (10 centimètres d'épaisseur réduite en minerai à grandes lamelles), mais qui n'a pas tardé à disparaître en profondeur ;

2° Celui de Chioso, entre San-Martino et Fiumicello, qui paraît être un croiseur du filon de Vallone ;

3° Le filon de Castellèse, situé en face et un peu en aval de Fiumicello,

A la mine de Méria est annexée, depuis 1893, une petite usine située à Minelli, au nord de Bastia, comprenant deux batteries de 12 creusets chacune et où l'on fait le régule. C'est actuellement la seule usine métallurgique de la Corse.

Cette mine a produit un total de 8.020 tonnes de minerai marchand, dans la période de quinze ans s'étendant de 1880 à 1894 inclus.

*Mine d'Ersa.* — Cette mine (\*), qui a été autrefois assez prospère, est restée presque inexploitée de 1884 à 1890. Elle n'a repris un peu d'importance que dans ces dernières années. La raison en est que les premiers concessionnaires, ayant exploité toute la partie en amont-pendage, ont été arrêtés par des venues d'eau considérables dès qu'ils ont tenté l'exploitation par puits. Ils ne sont donc guère descendus au-dessous de 50 mètres de la surface et n'ont pas essayé de lutter davantage contre l'envahissement progressif des eaux.

Les travaux ont été repris en 1891, simultanément par

sur la rive gauche du ruisseau de Méria. Ce filon, également croiseur de celui de Vallone, a aussi donné pendant un certain temps les plus belles espérances, tant à cause de son épaisseur que de la belle qualité du minerai, mais cette richesse n'a pas tardé à disparaître à l'avancement ;

4° Ceux de Canajo, au voisinage de la route de Fiumicello à la Marine, de Sozio Soprano et Sozio Sottano, près du sentier de Vallone à Méria ;

5° Enfin celui de Tuti Bianchi, qui est en dehors de la concession de Méria, sur le versant opposé, au sud du Monte Castello (Pinzu alle Grettolle) et qui paraît être d'une certaine importance. Il a donné lieu autrefois à une demande en concession, qui a été rejetée pour cause d'insuffisance de travaux.

(\* La mine d'Ersa était la seule connue à l'époque (1820) où Gueymard visita la Corse, encore n'y avait-il été fait que de simples fouilles superficielles. D'ailleurs à cette époque, l'antimoine était peu recherché, ses applications étant encore plus restreintes que de nos jours.

On comprend aussi que la découverte de l'antimoine ait été faite d'abord à Ersa et non à Méria ou à Luri, encore bien que les filons y soient peut-être plus abondants. Dans ces dernières localités, en effet, la région où on les observe est presque entièrement couverte par des maquis, tandis qu'à Ersa la colline où on a rencontré tout d'abord ce minerai est surlout occupée, entre Botticella et Granaggiolo, par des jardins ou des cultures.

la remise en état de l'ancien puits Galland et de la galerie d'écoulement de Guadigliolo.

Le filon, situé à l'ouest du hameau de Granaggiolo, est assez variable d'allure; il est orienté O. 20° N. Le minerai d'Ersa est particulièrement riche et les variétés largement cristallisées y sont abondantes.

La production totale de cette mine dans les quinze dernières années n'a été que de 1.960 tonnes de minerai marchand, correspondant à huit années seulement d'exploitation effective.

*Gisements divers.* — Signalons, pour terminer ce qui est relatif aux mines d'antimoine du cap Corse, que des filons de stibine ont été reconnus en d'autres endroits que ceux indiqués plus haut, et notamment au fond de la vallée qui sépare Rogliano de Tomino. Il n'est point douteux non plus que des recherches exécutées dans la vallée du ruisseau d'Alessandra, entre Luri et Méria, amèneraient la découverte de semblables filons; malheureusement il est assez difficile d'y faire les premières prospections destinées à fixer les points d'attaque, car le terrain est partout recouvert d'un épais maquis où il n'est pas facile d'observer les affleurements.

En dehors du Cap, nous ne connaissons l'antimoine qu'en un seul point de la Corse et dans une région toute différente, celle de Galéria, sur la côte occidentale. Le gisement auquel nous faisons allusion nous a été signalé par M. l'ingénieur des Ponts et Chaussées Guioillon; il est situé au lieu dit Tetti, sur la rive gauche du ruisseau de Ruja, affluent du Fango, qui descend du col de Parma. Le filon qui recoupe les schistes quartzeux que nous avons décrits comme précambriens est très peu important et ne paraît pas étendu.

M. Hollande signale, en outre, la présence du sulfure d'antimoine à Valle d'Alesani et à Vico; nous ne pouvons rien dire de ces gisements, que nous ne connaissons pas.

*Arsenic.* — Les sulfures d'arsenic, réalgar et orpiment, existent, à notre connaissance, sous forme de filonnets sans importance, dans les schistes lustrés dans deux localités différentes: à deux kilomètres et demi environ nord-est de Porta d'Ampugnani, au voisinage du torrent, affluent du Fium'Alto qui descend de ce village, et auprès de Matra, dans le canton de Moita. Dans les deux cas, le réalgar l'emporte de beaucoup comme proportion sur le sesquisulfure. Ces gites, très peu étendus d'ailleurs, ne paraissent susceptibles d'aucune exploitation.

*Plomb et zinc.* — Il existe en Corse trois concessions de mines de plomb, savoir:

Argentella, concédée le 9 janvier 1856, étendue le 14 avril 1874; superficie, 2.520 hectares;

Monticello, concédée le 1<sup>er</sup> février 1865; superficie, 752 hectares;

et Prato, concédée le 29 décembre 1840; superficie, 134<sup>ha</sup>, 52<sup>a</sup>.

*Mine de Prato.* — La concession de Prato s'étend sur la commune de Barbaggio, entre ce village et Saint-Florent, le long de la dépression qui sépare la colline miocène du Monte-Sant'Angelo de la masse schisteuse du Pigno et du Monte-Secco.

Il n'y a jamais été fait aucun travail sérieux et les déblais qu'on trouve aux abords des quelques rares fouilles ouvertes à la limite des schistes lustrés et des formations sédimentaires qui les recouvrent (au point 79 de la carte d'état-major par exemple) ne renferment qu'un peu de pyrite et de simples traces de minerai de plomb (\*).

(\*) Gueymard, qui a visité cette mine, en parle dans les termes suivants:

« Le minerai (sulfure de plomb argentifère) est disséminé dans une couche de schiste, avec plus ou moins d'abondance. Ayant fait ouvrir cette tranchée, nous avons reconnu que, lorsqu'on s'enfonçait, le

*Mine de Monticello.* — La concession de Monticello, située dans la commune de ce nom, et qui s'étend en bordure le long de la mer, à l'est de l'île Rousse, est dans le même cas. Les quelques recherches faites dans la crête granitique du Monte Rossi et de la Punta dei Sualelli, notamment entre la route nationale et le point 206 de la carte, ne laissent voir que de très rares traces de minerais dans les déblais.

*Mine d'Argentella.* — A la mine d'Argentella, située sur la côte occidentale, à l'ouest du cirque formé par le sommet du même nom et le cap Liceto, et dont les eaux s'écoulent dans la baie de Crovani, on a exploité avec une certaine persévérance un filon de galène orienté O. 15° S. et sensiblement vertical. Ce filon situé au pied du sommet de l'Argentella, à cheval sur la crête qui s'en détache vers le nord-ouest dans la direction [de l'étang de Crovani, s'est fait jour au milieu du granite granulitisant qui constitue la masse de cette montagne.

Sa puissance est très variable, de quelques centimètres à un mètre et plus ; mais, de part et d'autre des épontes, il existe une zone d'imprégnation assez large, 4 à 5 mètres en moyenne, où la galène existe sous forme de filets ou de mouches au milieu de la granulite dont elle constitue pour ainsi dire un minéral accessoire. Outre la galène, qui est ordinairement à grandes facettes et assez peu argentifère, il existe, dans le remplissage, de la blende, de la pyrite et de la chalcopyrite, mais en très faible proportion.

La teneur en minerai de toute cette masse, filon et zone d'imprégnation, est des plus faibles ; il en résulte qu'à part quelques rares placages de galène massive il

« schiste est plus chargé de minerai. La puissance de la couche qui le renferme est de 2 1/2 à 3 pieds. »

D'après cet auteur, les premiers travaux auraient été faits à cette mine par le général Paoli.

n'existe pour ainsi dire pas de minerai de triage, et que toute la masse doit être pulvérisée et soumise ensuite à une préparation mécanique très onéreuse, pour laquelle on a installé à grands frais une fort belle usine qui n'a malheureusement pas beaucoup travaillé. Le rendement en minerai est si faible qu'on a depuis plus de dix ans renoncé complètement à l'exploitation des mines de ce niveau supérieur.

Les travaux faits dans les dernières années, beaucoup plus bas, à Vallecalle, et même au bord de la mer, à Bocca-Bassa, ont été exclusivement des recherches sur des filons quartzeux assez mal définis d'ailleurs, qui recourent les schistes précambriens et dont la minéralisation consiste surtout en chalcopyrite.

A Bocca-Bassa, on a trouvé un peu de galène et de blende, mais en quantité très faible.

En dehors de ces trois concessions, il existe deux autres mines concédées pour cuivre, plomb et argent, celles de Saint-Augustin (concédée le 4 février 1854 ; superficie, 1.520 hectares) et de Tartagine (concédée le 31 mars 1852 ; superficie, 1.062 hectares), toutes deux situées près de Castifao.

De la première qui embrasse presque exclusivement des terrains éocènes et des roches ophiolitiques du même âge, il n'a été extrait à notre connaissance que du minerai de cuivre, et il n'en sera pas question ici, puisque sa description rentre tout naturellement dans le paragraphe suivant consacré à ces mines.

*Mine de Tartagine.* — Dans la seconde, au contraire, qui s'étend en amont des baraques de Piana, sur les deux rives du Tartagine, il n'a été extrait que du minerai de plomb ; encore convient-il d'ajouter que les travaux qu'on y a faits, et qui sont surtout développés sur la rive droite de cette rivière, ont été suspendus quelque temps après la concession et n'ont pas été repris depuis.

*Gisement d'entre Tartagine et Asco.* — Des filons du même genre, où il a été fait quelques recherches dans ces dernières années, existent dans les mêmes conditions, soit au milieu des schistes anciens qui recouvrent la protogine ou les gneiss, sur la crête située au sud de cette dernière concession et qui, prolongeant les derniers contreforts du Monte-Padro, séparent le Tartagine de l'Asco.

Les deux ou trois filons qu'on y a découverts, pas plus que ceux de la concession de Tartagine, ne paraissent pas avoir de continuité.

Le remplissage en est constitué par des parties souvent massives formées d'un mélange intime de blende, de galène et de chalcopryrite, en grains extrêmement fins et dont la séparation ne serait possible qu'après une pulvérisation en poussière impalpable. Des analyses faites sur des échantillons de ce minerai n'ont pas donné une teneur en argent (1<sup>re</sup>, 250 à la tonne de minerai) suffisamment élevée pour qu'elle puisse compenser les dépenses qu'entraînerait une préparation mécanique aussi complexe.

*Gisement de Piétralba.* — Des recherches pour plomb ayant motivé une demande en concession, qui a d'ailleurs été rejetée, ont eu lieu il y a une dizaine d'années dans la région située au sud du village de Piétralba, à l'est de la route nationale de Ponte-Leccia à la Balagne, au pied des derniers escarpements de la chaîne du Tende.

Les terrains dans cette région sont constitués par des schistes quartzo-argileux anciens qui reposent sur la protogine gneissique de la chaîne du Tende, et qui sont partiellement recouverts par des schistes éocènes et les roches serpentines et ophiolitiques de la Navaccia.

Ces fouilles assez nombreuses, notamment dans la région située au nord de la gare actuelle de Piétralba, mais peu étendues, ont démontré l'existence de plusieurs filons à gangue exclusivement quartzreuse et dont la minéralisa-

tion consiste en galène à grains fins moyennement argentifère.

*Gisement du Monte-Grosso et du Niolo.* — En dehors de ces divers gisements que nous avons visités, il en existe d'autres où il n'a pas été fait de recherches et qui ne paraissent d'aucune importance; de ce nombre sont ceux du flanc nord du Monte-Grosso, près de Zilia, sur la gauche du ruisseau qui descend du col de Cineraggia, où la galène existe dans la granulite à peu près dans les mêmes conditions qu'à Argentella; ceux qu'on observe en divers points du Niolo, notamment près de Corscia et de Casamaccioli, etc.

*Cuivre. — Généralités.* — Nous avons fait connaître à propos des roches ophiolitiques éocènes (pour plus de détails, voir la notice publiée par le Service de la Carte géologique) la relation existant entre ces roches et les gites cuprifères de la Corse, et établi que tous ces gites, de même que ceux de la Toscane et de l'île d'Elbe, sont répartis à la périphérie des massifs éruptifs de ces roches vertes, et de préférence autour de ceux de serpentine.

Dans cette catégorie rentrent les gisements concédés de Saint-Augustin, dont il a déjà été question plus haut; de Ponte-Leccia (concédé le 25 août 1861; superficie, 1.664<sup>ha</sup>, 36) et de Linguizetta (concédé le 19 septembre 1855; superficie, 672 hectares).

Ces trois mines sont inexploitées depuis quelques années déjà.

*Mine de Saint-Augustin.* — La première a été anciennement l'objet de travaux assez importants, échelonnés entre Moltifao et la chapelle de San-Rocco, au voisinage de l'ancien chemin muletier de Corte à la Balagne.

Les travaux qui présentent le plus de développement sont ceux qui ont été faits sur les bords du Tartagine et notamment sur sa rive droite, sous les baraques de Piana.

C'est de cette dernière attaque, consistant en une galerie de niveau et en quelques puits intérieurs et descenderies peu profonds, ouverts au contact de la serpentine et des schistes éocènes, qu'a été extraite la plus grande partie du minerai de cuivre trouvé en Corse. Les amas lenticulaires de chalcopryrite y étaient d'ailleurs extrêmement variables d'allure et d'épaisseur, et on peut dire qu'on n'est jamais sorti à cette mine de la période des recherches, aucune lentille rencontrée n'ayant permis d'y établir une exploitation de quelque durée. Cette mine est complètement abandonnée depuis une quinzaine d'années.

*Mine de Ponte-Leccia.* — A la mine de Ponte-Leccia, on a eu plus de persévérance.

Des attaques superficielles exécutées à flanc de coteau en face et à l'ouest de la gare actuelle du chemin de fer ayant fait découvrir quelques amas de chalcopryrite et de phillipsite, accompagnées, dans les parties voisines des affleurements, de malachite et d'azurite, on les a suivis par des descenderies assez courtes, mais ils n'ont pas tardé à diminuer et même à disparaître en profondeur. Une galerie, dite galerie Marteau, ouverte en contre-bas, a été poussée très loin sans rencontrer d'amas importants de ces minerais. Toute cette région est d'ailleurs recoupée par des filons de diabase qui rendent les recherches assez difficiles à diriger.

*Mine de Linguizetta.* — La mine de Linguizetta située dans une tout autre région, sur la côte orientale, est restée jusqu'ici, comme les précédentes, dans la période des recherches; tout travail y a d'ailleurs complètement cessé depuis plus de quinze ans (\*).

Le minerai consiste, comme à Ponte-Leccia et à Saint-Augustin, en chalcopryrite avec quelque peu de cuivre

(\*) Gueymard, qui a visité cette mine, n'en parle guère que pour constater son peu de richesse.

natif, celui-ci étant surtout localisé dans les calcaires cristallins au voisinage des roches vertes. Ajoutons que ces dernières sont très peu développées dans la région, et se rencontrent dans tous les cas en masses infiniment moins importantes que dans la vallée de la Navaccia et dans le sillon central qui lui fait suite vers le sud.

*Gisements divers.* — Indépendamment de ces mines, il a été fait de nombreuses recherches pour cuivre, au voisinage de la bande de roches ophiolitiques allongée dans le sens de ce sillon; la plupart d'entre elles ont démontré l'existence un peu partout de ces amas de minerais de cuivre.

De ce nombre sont :

*Col de San-Quilico.* — Les recherches faites sur les deux versants du col de San-Quilico et principalement sur celui du sud, au lieu dit : Erba Mora, à 450 mètres de distance du col et au bord de la route nationale, et qui ont déjà donné lieu à plusieurs demandes en concession. Le minerai y est constitué surtout par de la chalcopryrite presque chimiquement pure (\*) et en d'autres points par un mélange en toutes proportions de cette chalcopryrite et de pyrite de fer.

Le minerai se présente ici sous la forme d'un amas très aplati, affectant grossièrement la disposition d'un filon, sensiblement vertical, qui, sur l'étendue de 170 mètres carrés environ (mesurés selon son plan) où il a été reconnu, présente une épaisseur réduite moyenne de 0<sup>m</sup>,055 avec un maximum de 0<sup>m</sup>,25.

Ces recherches ont donné environ 30 tonnes de minerai

(\*) Des analyses faites à l'Ecole des Mines ont donné jusqu'à 24 p. 100 de cuivre métallique, sans traces appréciables d'éléments nuisibles au point de vue du traitement métallurgique, tels qu'arsenic ou antimoine.

Il existerait aussi dans ce minerai des traces de platine, mais pas d'or.

de première qualité et une dizaine de tonnes de minerais moins riche en cuivre, par suite de son mélange avec la pyrite de fer.

*Casaluna.* — Les quelques fouilles exécutées sous Castineta et Gavignano, aux environs de la rivière, affluent de la Casaluna, qui descend de Morosaglia, ont démontré l'existence, au milieu de masses importantes de diabase et de gabbro à grands éléments, de véritables filonnets de minerais cuprifères.

Ici, comme on le voit, le mode de gisement est un peu différent des précédents; aussi le remplissage n'est-il plus le même et consiste-t-il surtout en cuivre gris.

*Sermano.* — D'anciennes recherches faites au nord de Sermano, près de la chapelle de Sant'Alessio au voisinage des roches serpentineuses associées aux diabases, n'ont donné que des résultats insignifiants; nous les citons seulement pour montrer l'extrême diffusion de ces gisements cuprifères en Corse, et aussi en général leur peu d'importance.

*Focicchia.* — Les recherches exécutées entre Erhajola et Focicchia, au lieu dit : Frallace, au voisinage de la route et du ruisseau qui descend du col de San-Cervone, ont porté également sur un amas cuprifère situé au contact des schistes éocènes et d'un des nombreux pointements de roches vertes qui jalonnent une ligne à peu près droite allant du col de Campidondico à Altiani, et qui sont les dernières traces vers le sud de la grande venue diabasique et serpentineuse éocène des cantons de Sermano et de San-Lorenzo.

Ces recherches ont mis à découvert un petit amas de chalcopryrite plus ou moins mélangée de pyrite de fer.

Un peu plus au sud, au lieu dit : Arena, sur la rive droite du ruisseau qui descend de la pointe Caracuto, et à 300 mètres sous la route de Focicchia, on retrouve un second gisement où les calcaires cristallins des épontes

renferment parfois des masses de plusieurs kilogrammes de cuivre natif.

Ce dernier caractère rapproche ce gisement de celui de Linguizetta, auquel il ressemble sous beaucoup de rapports; comme lui, il est à la limite des terrains éocènes et des schistes lustrés, et la recherche d'Arena paraît même être entièrement dans ces schistes, comme la galerie de Linguizetta où l'on a rencontré le cuivre natif.

*Vezzani.* — A citer enfin, pour clore cette longue série de gisements cuprifères en relation avec les roches vertes éocènes, celui de Vezzani, qui est un peu différent des précédents, en ce sens que ces roches vertes n'affleurent pas, encore bien que leur existence en profondeur semble probable.

Les recherches peu étendues faites à 300 ou 400 mètres sous le village, au bord même de la route, ont mis en évidence l'existence d'une masse de plusieurs mètres cubes de chalcopryrite plus ou moins mélangée de pyrite de fer. D'ailleurs, dans cette région, les terrains encaissants qui appartiennent à la série des schistes lustrés et amphiboliques (avec nombreuses variétés renfermant de la glaucophane et de la riebeckite) sont eux-mêmes imprégnés de pyrite, comme cela a lieu dans les gisements suivants dont il nous reste à parler (\*).

*Pyrite.* — *Mines de Cardo et de Lancone.* — Ceux-ci ont donné lieu à l'institution de deux concessions, celle de Cardo, à l'ouest de Bastia (concédée le 18 juillet 1868; superficie, 236 hectares), et celle de Frangone, — ou mieux Lancone qui est le seul nom connu en Corse, — dans la gorge du Bevinco (concédée le 13 juillet 1878; superficie, 457 hectares); toutes deux d'ailleurs inexploitées depuis plusieurs années.

(\*) Ce gisement a été concédé le 19 janvier 1897 (Concession de la Tama, 1.842<sup>o</sup>, 36).

Dans ces deux mines la pyrite de fer, plus ou moins cuivreuse, n'existe pas sous forme de filons ou d'amas, mais elle imprègne les schistes amphiboliques au point de former dans certaines couches un véritable minerai qui serait économiquement exploitable si, dans la plupart des cas, sa teneur en cuivre ne tombait au-dessous de 4 p. 100.

La zone d'imprégnation est plus ou moins épaisse selon les cas :

A Lancone, il y en a deux superposées presque horizontales et distantes d'une trentaine de mètres : l'inférieure, de beaucoup la plus épaisse, atteint jusqu'à 2 et 3 mètres de puissance, mais elle est souvent plus réduite ; la supérieure, bien plus mince, est aussi souvent plus riche en cuivre.

C'est d'ailleurs un fait assez fréquent, que la teneur en cuivre de ce minerai augmente quand l'épaisseur de la couche diminue.

A Cardo, la couche d'imprégnation est unique, elle a de 1 à 2 mètres de puissance avec, dans sa partie centrale, une couche de 0<sup>m</sup>,50 de minerai presque massif, qui seul a été exploité, et est plus redressée qu'à Lancone (40 à 60°).

Jusqu'à 10 ou 15 mètres de la couche d'imprégnation, les schistes encaissants présentent des mouches de pyrite plus ou moins abondantes.

Dans chacune de ces mines la couche a été explorée sur plusieurs centaines de mètres par des galeries en direction.

Une petite usine de grillage avec cuves de lessivage et de cémentation pour la précipitation du cuivre a été installée autrefois à Cardo, mais elle est inactive depuis plus de dix ans.

*Gisements divers.* — Nous avons cité d'autres gîtes de cuivre à Argentella (Vallecalle), consistant en amas de

chalcopyrite dans les schistes quartzo-argileux qui recouvrent les gneiss amphiboliques de la marine de Crovani, nous n'y reviendrons pas ici.

Des recherches pour cuivre (pyrite plus ou moins cuivreuse) ont eu lieu également au voisinage du hameau de Revinda, entre Cargèse et Marignana. Elles n'ont pas été couronnées de succès.

M. Hollande cite enfin l'existence du minerai de cuivre (phillipsite ?) à Vallecalle, Rapale, Canavaggio, Lento, etc. Nous n'avons pas connaissance de ces gisements qui, sans doute, sont peu importants, et où il n'a pas été fait de recherches, au moins dans les quinze dernières années.

## CARRIÈRES.

*Matériaux de construction.* — Les matériaux de construction les plus divers abondent dans l'île, et nous n'avons pas l'intention d'en énumérer tous les gisements ; nous nous bornerons à citer les localités qui nous ont paru plus particulièrement intéressantes, en raison des qualités exceptionnelles de leurs produits.

*Granite.* — Il existe de très belles variétés de granite porphyroïde exploitées ou susceptibles de l'être, à Algajola, près du cap Cavallo, au sud de Cargèse, entre Afa et le col de Listincone, entre Quenza et Zonza, à la marine de Porto-Vecchio, aux îles Lavezzi et Cavallo, et notamment à l'ilot de San-Bainzo où les Romains avaient ouvert plusieurs carrières et d'où ils ont tiré des fûts de colonnes de toutes dimensions.

*Syénite.* — La syénite de Matoni, au nord d'Ajaccio, est particulièrement à signaler à cause de ses belles teintes dans les tons rose chair, rose saumon et vert d'herbe. Étant données les facilités que présenterait son exploitation (la carrière n'est qu'à 4 kilomètres du port

d'Ajaccio, auquel elle est reliée par une bonne route) et ses qualités décoratives, il est étonnant que cette roche n'ait pas été jusqu'ici plus employée pour la construction ou la marbrerie.

Des roches semblables existent à Quenza et à Casamaciolî, mais leurs gisements sont malheureusement éloignés de tout port d'embarquement.

*Protogine.* — La protogine est également une fort belle roche, qui serait très recherchée si, d'une part, l'extrême abondance des matériaux en Corse, et, d'autre part, le peu de développement des travaux de construction d'un caractère tant soit peu architectural ne lui enlevaient tout son prix.

Elle est exploitée entre Lama et Urtaca, aux environs de Corte, et notamment dans la gorge de la Restonica, à Serraggio, à Ghisoni, etc. Elle a servi à la construction de plusieurs travaux d'art importants du chemin de fer entre Serraggio et Vivario, où elle existait pour ainsi dire à pied d'œuvre.

*Diorite.* — Il existe près d'Olmeto, de Paragino, de Mela, d'Aullène et en plusieurs autres localités de l'arrondissement de Sartène, des masses de diorite qui seraient susceptibles d'emploi dans la construction ou mieux dans la marbrerie (pierre de demi-deuil) et que Gueymard a déjà signalées.

La diorite orbiculaire de Sainte-Lucie de Tallano pourrait elle-même servir à des ouvrages de marbrerie, mais nous doutons qu'on puisse en extraire des blocs volumineux, comme l'indique cet auteur.

*Porphyres.* — Les porphyres du Monte Cinto, de la Paglia Orba, de l'Asco, du Niolo, sont certainement susceptibles de fournir à la marbrerie de fort beaux matériaux, en raison de la multiplicité et de l'éclat des teintes qu'on y observe.

Malheureusement, l'éloignement et la difficulté d'accès

des gisements en rendront toujours l'exploitation onéreuse.

Les pyromérides et microgranulites globulaires de Curzu, de Galeria et de Girolata sont aussi assez curieuses pour attirer l'attention des marbriers.

*Porphyrites.* — La coulée de porphyrite micacée et augitique de Porraggia, près de la marine de Sisco, a quelquefois été exploitée pour pierre de taille; elle fournit des matériaux de bonne qualité et d'un certain cachet, malgré leur couleur terne (chaines d'angles de la gare de Bastia).

*Serpentines.* — Il existe en Corse des centaines de gisements de serpentine susceptibles d'une exploitation en vue de l'extraction de matériaux destinés à la marbrerie ou à la construction.

Une mention spéciale est à faire des variétés à diallage et à bastite, où ces minéraux ressortent sur le fond sombre de la roche, comme des incrustations aux teintes de laiton du plus bel effet. Il est vraiment extraordinaire que des gisements comme ceux du Monte Marcolinco, par exemple, situés à l'extrémité du cap Corse, au voisinage de la route nationale, à 6 kilomètres du port de Macinaggio, et d'où l'on pourrait extraire des milliers de mètres cubes de cette roche, sans qu'il fût nécessaire d'y faire aucun travail préparatoire, soient restés jusqu'ici à peu près inexploités. Bien que cette roche soit, sans contredit, l'une des plus belles au point de vue décoratif, c'est à peine si elle est connue sur le continent.

*Euphotide.* — L'euphotide désignée sous le nom de vert de Corse, vert d'Orezza, etc., a quelquefois été citée comme pierre susceptible d'exploitation pour la marbrerie. Gueymard, qui signale cette roche comme ayant servi à l'ornementation de la Chapelle des Médicis, à Florence, dit qu'elle était connue des Romains. Elle constitue dans tous les cas une roche bien curieuse par

la teinte vert d'herbe de son amphibole (smaragdite). Malheureusement, quoi qu'en dise Gueymard, elle ne nous paraît pas constituer des gisements exploitables, et les plus belles variétés ne se trouvent guère qu'en blocs épars dans le lit des torrents qui descendent du Monte Muffrate et de la pointe de Caldane, à la limite des vallées d'Orezza et d'Alesani.

*Marbres.* — Les cipolins de l'étage des schistes lustrés fournissent des marbres communs exploités en plus d'un point pour les besoins de l'île. Ceux de Corte sont particulièrement décoratifs (pont du Tavignano, près de la gare de Corte; tribunal de Bastia, etc.).

Les cipolins d'Erbalunga, de Brando, du cap Sagro, etc., sont surtout exploités pour dalles plus ou moins épaisses servant au pavage des trottoirs (Bastia) et des maisons, ou employées comme marches d'escaliers, linteaux, pierres d'évier, etc.

On a aussi quelquefois exploité pour marbre, sous Oletta (brèche dorée d'Oletta), un calcaire plus ou moins bréchiforme, où dominent les teintes jaune et rouge violacé, faisant partie de l'étage infraliasique.

Cette brèche est d'un assez bel aspect décoratif; toutefois son exploitation n'a pas pris, jusqu'ici, un bien grand développement.

Des calcaires semblables appartenant au même étage existent à Pietra-Bella, près de la grotte de Ponte-Lecchia. Ils paraissent susceptibles de donner de beaux produits, mais ils n'ont jamais été exploités.

*Ardoises.* — Les schistes amphiboliques superposés aux cipolins, dans leurs variétés les plus fissiles, fournissent quelques ardoises de médiocre qualité, leur épaisseur descendant rarement au-dessous de 5 millimètres. Ils sont exploités dans ce but sous Guaitella, dans la commune de Ville-de-Pietrabugno, à Olmeta-di-Capo-Corso et en plusieurs autres localités du Cap. Les cipolins eux-

mêmes se débitent parfois selon les plans de stratification en dalles suffisamment minces (Erbalunga, Sisco) pour qu'il soit possible de les employer à la couverture des maisons; ces couvertures sont lourdes et pour cette raison résistent bien aux coups de libeccio (vent d'ouest) particulièrement violents dans le Cap.

*Pierre à chaux.* — Dans toute la zone des schistes lustrés, la pierre à chaux ne manque pas, puisque l'étage des cipolins en fournit abondamment et de bonne qualité. Les fours à chaux étant généralement à proximité des carrières, on peut dire que leur emplacement est caractéristique de l'existence de cette bande de cipolins dont nous avons signalé la présence à un niveau assez constant dans toute la région du nord-est de la Corse.

En dehors de ces cipolins, les calcaires du lias et ceux de la base de l'éocène sont presque partout exploités pour pierre à chaux (La Coscia, près Macinaggio; Capracotta, près Solenzara; La Penna, près Sari-di-Porto-Vecchio; le port de Favone; la Punta d'Aquella, près Conca; Barbaggio, Oletta, Palasca, Pietralba, Piedigriggio, Caporalino, Corte, etc.).

Dans les régions granitiques de l'ouest et du sud, l'absence de toute pierre pouvant donner de la chaux pour la cuisson est une des difficultés de la construction; il faut alors souvent aller la chercher très loin ou, ce qui est plus simple, mais aussi plus coûteux, la faire venir du continent. Aussi utilise-t-on dans ce but tous les calcaires, bons ou mauvais, que l'on a sous la main: calcaire carbonifère du Campitello, près d'Argentella; molasse miocène à Bonifacio; tufs quaternaires du port d'Arone, au sud-ouest de Piana, etc. D'ailleurs, dans la plupart des villages de la région granitique, une partie des maisons sont construites sans mortier à la chaux, les joints entre les moellons étant simplement garnis avec de la terre glaise, ce qui supprime la difficulté.

*Pierre à plâtre.* — Le gypse n'est connu qu'en un seul point, au col de San-Quilico, encore n'y existe-t-il qu'en masse insignifiante ; il n'a jamais été exploité.

*Amiante.* — Cette fibre minérale est un produit constant dans les schistes lustrés de la région du nord-est. On l'observe généralement sous forme d'auréole autour des massifs serpentins, marquant leur ligne de contact avec les schistes amphiboliques. Cette auréole se réduit souvent à quelques centimètres d'épaisseur et ne peut donner lieu dans ce cas à aucune exploitation, mais il est rare qu'elle fasse complètement défaut. C'est dire qu'il ne peut être question de citer ici tous les endroits où ce minéral a été rencontré. Nous devons cependant signaler comme plus particulièrement désignées, au point de vue des recherches qu'on y pourrait faire, les localités suivantes : environs du col de San-Pietro et du col d'Orezza, à l'ouest de Piedicroce ; Saliceto, San-Lorenzo et plus généralement la région qui entoure le San-Pedrone ; environ de Moïta, de Sant'Andrea di Cotone, au sud de Cervione ; de Lugodi-Nazza, de Piève, etc., etc.

Le gisement de Piétra Mala, au sud de Sant'Andrea, a, pendant plusieurs années (1887-1891), fourni à la consommation quelques centaines de tonnes d'amiante d'assez bonne qualité ; un petit atelier de lavage et de préparation avait même été créé pour le traitement de cette fibre dans le local des docks de Bastia. Dans ces dernières années la production a baissé, et le gisement paraît sinon épuisé, du moins insuffisant pour permettre une exploitation rémunératrice.

*Argile.* — L'argile servant à la fabrication des tuiles, des briques, des poteries diverses, est assez rare en Corse, et surtout sa qualité laisse beaucoup à désirer. Cette industrie est donc presque inconnue dans l'île, sauf en quelques rares localités du cap Corse.

## EAUX MINÉRALES.

**Généralités.** — Nous terminerons ce chapitre en disant quelques mots des eaux minérales.

Celles-ci sont assez abondantes et peuvent se rattacher à deux types très différents, celui des bicarbonatées ferrugineuses et celui des eaux sulfurées sodiques.

**Sources bicarbonatées ferrugineuses.** — Les premières, que nous désignerons sous la dénomination générale d'eaux du type Orezza (\*), du nom de la principale source et de la plus anciennement connue, sont toutes localisées dans le centre de la région occupée par les schistes sériciteux.

Elles sont au nombre d'une vingtaine environ, remarquablement groupées le long d'une droite orientée S. 7° E. (ligne MN de la carte, Pl. V), soit à peu près la direction moyenne de la crête du San-Pedrone, qui domine du côté de l'ouest le principal groupe de ces sources, celui de Rapaggio-Stazzona. Cette ligne, qui coïncide d'ailleurs *grosso modo* avec les cluses des vallées supérieures du Fium'Alto et de l'Alésani, paraît correspondre à une grande faille passant par le col de Sant'Antonio, situé entre Casabianca et Ortiporio, et par celui qu'emprunte la route nationale n° 197, entre les vallées d'Orezza et d'Alésani (\*\*).

Dans ce qui va suivre nous passerons successivement en revue ces diverses sources et donnerons pour chacune d'elles ses principaux caractères.

(\*) Il est bien entendu que nous n'entendons pas dire par là que toutes ces eaux aient exactement la même composition et partant les mêmes propriétés ; à défaut d'autre preuve, les quelques analyses que nous donnerons plus loin prouvent surabondamment qu'il n'en est rien.

(\*\*) Ce col est à 1.500 mètres environ à l'ouest de celui d'Arcarota par lequel passe l'ancien sentier muletier.

*Caldane* (\*). — En remontant la route départementale n° 4, de Folelli à Piedicroce, qui côtoie le Fium' Alto dans toute sa longueur, on aperçoit au-delà du premier grand coude de cette rivière, dans les rochers situés sur sa rive droite, au bord du chemin, quelques suintements d'eau ferrugineuse, d'une saveur très légèrement acidulée, et abandonnant à l'air des dépôts ocreux, qui sont probablement déjà à rapporter à quelque griffon d'eau minérale du type Orezza. Il n'y a jamais été fait aucune recherche.

A 1.500 ou 1.800 mètres plus loin, tout à côté du pont de Scamarone et au point où se détache sur la gauche le chemin qui monte à Pruno, on rencontre sur la rive gauche de la petite rivière qui descend de ce village et tout près de son confluent avec le Fium'Alto, une source importante du même type, dénommée source de Caldane, bien que sa température ne soit que de 16°. Son débit est d'environ 8 litres à la minute.

Autorisée par arrêté ministériel du 24 décembre 1877, elle a été jusqu'ici assez peu exploitée.

D'après une analyse faite en 1878 à l'École des Mines, voici quelle serait la composition de cette eau (\*\*).

Acide carbonique des bicarbonates.....	0 <sup>gr</sup> ,6870
— libre.....	1 ,3222
Bicarbonate de chaux.....	1 ,0152
— magnésie.....	0 ,1136
— fer.....	0 ,0153
Chlorure de sodium.....	0 ,0489
<i>A reporter.....</i>	<i>1<sup>gr</sup>,1930</i>

(\*) Ce mot « Caldane », que nous verrons revenir souvent au cours de cette étude sous ses différentes formes : « Caldanelle », « Caldaniccia », ne devrait s'appliquer qu'aux eaux *thermales*; en fait, il désigne souvent, comme c'est ici le cas, des eaux minérales froides.

(\*\*) Les résultats de cette analyse, ainsi que ceux cités plus loin pour les sources « Sorgente Sottana », « Pardina » et « Puzichello », sont extraits de l'ouvrage de MM. Jacquot et Willm, intitulé : *Les Eaux minérales de la France*. — Paris, Baudry, 1894.

<i>Report.....</i>	<i>1<sup>gr</sup>,1930</i>
Sulfate de soude.....	0 ,0295
— polasse.....	traces
— magnésie.....	0 ,0033
Silice.....	0 ,0260
Matières organiques.....	traces
Total.....	1 <sup>gr</sup> ,2518
Résidu fixe par litre.....	0 ,3847

Cette source de Caldane est celle qui s'éloigne le plus de la ligne idéale le long de laquelle sont groupées les autres sources du type Orezza.

*La Porta d'Ampugnani*. — Une autre source du même type, non autorisée et non captée, se voit en dehors de la vallée du Fium'Alto, au bord de la route qui monte à La Porta d'Ampugnani, et tout près du confluent du ruisseau descendant de ce village avec celui qui coule un peu plus au nord, au pied de la Chapelle San-Biaggio, sous Poggio-Marinaccio.

Le débit en est faible, environ 3 litres à la minute, et la température de l'eau est de 15°.

D'après l'analyse qu'en donne O. Henry, elle renfermerait très peu d'acide carbonique libre.

C'est non loin de cette source que se trouve le filon d'arsenic sulfuré dont il a été parlé plus haut; l'analyse citée ci-dessus n'indique pas de traces d'arsenic dans cette eau.

*Sources de la Castagniccia ou du pays d'Orezza*. — Ces sources, les plus nombreuses et les plus abondantes, sont presque toutes situées dans les communes de Rapaggio et de Stazzona. Elles sourdent pour la plupart au fond du ravin où coule le Fium'Alto, qui sert de limite entre ces deux communes; le plus grand nombre et les plus importantes sont sur sa rive droite, soit sur Rapaggio.

On en connaît aussi quelques-unes, mais moins abondantes, sur le versant opposé de la colline de Rapaggio, dans le bassin de la petite rivière qui se jette dans le Fium'Alto, au sud de l'ancienne forge d'Orezza.

Enfin la source de « Siala » est un peu en dehors de la vallée, dans la commune de Piedicroce, mais tout près de sa limite avec celle de Verdèse.

Toutes ces sources sans exception ont très certainement une origine commune, et la source départementale d'Orezza, de beaucoup la plus importante et la plus anciennement connue, doit être considérée seulement comme le centre d'une seule et même venue d'eaux minérales qui ne diffèrent entre elles que par les actions secondaire dues, soit à des mélanges avec de l'eau superficielle, soit à des différences locales dans la nature des terrains traversés.

Dans ce qui va suivre nous passerons en revue les principales d'entre ces sources, dans l'ordre où on les rencontre en allant du nord vers le sud.

1° Vallée du Fium'Alto. — Source du Pasteur. — Désignée successivement sous les noms de source Manfredi, source Tinturajo, source du Pasteur, cette source est la première que l'on rencontre en remontant le Fium'Alto. Elle sourd tout au bord de la rivière, sur sa rive droite. Le captage assez complet qui y a été fait a reporté le point d'émergence, qui était autrefois dans une espèce de grotte naturelle creusée dans la roche par les eaux de la rivière, à une dizaine de mètres plus à l'est, en un point qu'on peut considérer comme à l'abri des crues.

Sa température est de 14°, et le débit de 8 litres à la minute; elle a été autorisée par arrêté ministériel du 12 juillet 1892.

Sources Tascavuota et Piane. — Situées à quelques centaines de mètres au sud de la précédente et dans la même situation, soit au bord de la rivière, sur sa rive droite.

Température, 14°; débit, 4 litres à la minute. Autorisées par arrêté ministériel du 27 octobre 1878. Captage insuffisant.

Source départementale ou Sorgente Sottana. — La plus importante de toutes les sources de la région, celle qui a été longtemps la seule exploitée et qui fournit encore la plus grande partie de l'eau minérale de ce type consommée sur le continent.

Cette source a été autorisée par arrêté ministériel du 25 avril 1856, et déclarée d'intérêt public le 7 février 1866.

Elle est située à une cinquantaine de mètres du Fium'Alto, à une quinzaine au-dessus de son niveau moyen, au pied du coteau sur lequel est bâti Granajola, dépendance de Rapaggio. Un établissement appartenant au département y a été construit pour l'embouteillage et l'usage sur place de ces eaux, où se rendent pendant la saison chaude un certain nombre de baigneurs. Les expéditions annuelles moyennes sur le continent atteignent 400.000 bouteilles. L'eau d'Orezza est, en outre, vendue en Corse à un tarif très réduit (clause du cahier des charges).

La température de l'eau est de 14°; le débit d'au moins 20 litres par minute.

La composition de cette eau, bien connue sur le continent, serait, d'après Poggiale :

Acide carbonique (libre ou provenant des bicarbonates).....	2 <sup>sr</sup> ,4678
Carbonate de chaux.....	0,602
— magnésie.....	0,074
— lithine.....	traces
— fer.....	0,128
— manganèse et de cobalt.....	traces
Sulfate de chaux.....	0,021
A reporter.....	0 <sup>sr</sup> ,825

<i>Report</i> .....	0 <sup>gr</sup> ,825
Chlorures alcalins.....	0 ,014
Alumine et silice.....	0 ,010
Arsenic.....	traces
Fluorure de calcium.....	traces
Matières organiques.....	traces
Total.....	0 <sup>gr</sup> ,849

*Source Peretti.* — Située sous la précédente, sur la rive droite du Fium'Alto, et presque dans le lit de cette rivière, de sorte qu'elle est inaccessible pendant les crues.

Paraît être un filet échappé de la source départementale. Température, 14°; débit, 5 litres à la minute. Autorisée par arrêté ministériel du 7 août 1886.

*Source Sorgente Soprana.* — Située à flanc de coteau entre la Sorgente Sottana et Granajola. Cette source, non captée, non autorisée, et d'un faible débit paraît être d'une nature un peu différente des précédentes; elle jouit de propriétés purgatives assez prononcées.

Elle n'a pas été utilisée jusqu'ici.

*Sources diverses.* — Une autre source non dénommée existe en amont de la source Peretti, dans la direction de Stazzona, mais elle est peu importante.

D'ailleurs, on peut dire qu'entre la source Peretti et celle du Pasteur, sur une longueur de 1.600 à 1.800 mètres, il existe sur les deux rives du Fium'Alto de très nombreuses sources minérales du même type, réduites souvent à un mince filet d'eau ou même à un simple suintement et qui passeraient inaperçues sans le dépôt ocreux caractéristique qu'elles abandonnent à l'air sur les parois des rochers où elles coulent.

2<sup>e</sup> Vallée de la rivière de Rapaggio et de Valle d'Orezza. — Cette vallée, qui s'ouvre à l'est de la crête séparant Granajola de Rapaggio et dont les eaux se déversent dans le Fium'Alto, à 300 mètres au-dessous de l'ancienne forge

d'Orezza, renferme comme la précédente de très nombreuses sources, dont aucune jusqu'ici n'a été utilisée et dont le débit et la minéralisation sont d'ailleurs plus faibles que celle de la vallée principale, ce qui pourrait simplement résulter de ce que leurs points d'émergence sont en général beaucoup plus élevés.

Ce sont en allant du nord au sud :

La source Mammuccia ;

Une source non dénommée ;

La source Saint-Georges ;

Les sources Sainte-Madeleine et Felice-des-Anglais ;

La source de la Pietra et deux autres non dénommées.

Ces sources sont groupées tout autour de Rapaggio et notamment dans le petit ravin situé entre ce village et Valle d'Orezza.

3<sup>e</sup> Vallée de la rivière de Verdèse. — Enfin c'est au bord du ruisseau qui descend de Verdèse, sur sa rive droite et partant dans la commune de Piedicroce, que se trouve la source de Siala, autorisée par arrêté ministériel du 30 août 1890.

Sa température est de 15°, et son débit de 8 litres par minute.

*Sources de la vallée d'Alésani.* — Source de Pardina.

— Immédiatement au sud de la crête qui sépare le Fium'Alto de l'Alésani et que franchit la route nationale n° 197 à la cote 819, on trouve, sur l'alignement déjà signalé, trois nouvelles sources du même type : l'une, celle de Pardina, est déjà assez connue sur le continent ; elle est située dans la commune de Tarrano, au bord de la rivière.

*Sources de Perretti.* — Deux autres sources non dénommées et non utilisées jusqu'ici, autrement que par les gens du pays, sont situées un peu plus bas, dans la commune de Peretti, sur la rive droite de l'Alésani.

La source de Pardina a été autorisée par arrêté ministériel du 1<sup>er</sup> juin 1874. Sa température est de 12°, et son débit de 18 litres à la minute. La consommation moyenne annuelle de cette eau dépasse 100.000 bouteilles.

L'analyse de l'eau de Pardina, faite en 1873 à l'École des Mines, a donné les résultats suivants :

Acide carbonique des bicarbonates.....	0 <sup>gr</sup> ,2476
— libre.....	1 ,4939
Bicarbonate de chaux.....	0 <sup>gr</sup> ,3470
— magnésie.....	0 ,0358
— fer.....	0 ,0200
Chlorure de sodium.....	0 ,0120
— potassium.....	traces
Sulfate de magnésie.....	0 ,0102
Silice.....	0 ,0030
Matières organiques.....	0 ,0080
Total.....	0 <sup>gr</sup> ,4360
Résidu fixe par litre.....	0 ,3100

*Sources de la vallée du Bravone.* — Les autres sources dont il nous reste à parler sont beaucoup moins connues que les précédentes; il est vrai de dire qu'elles sont aussi moins importantes et n'ont été utilisées jusqu'ici que par les habitants des localités où elles se trouvent.

Ces sources sont au nombre de quatre : trois sont situées au bord du Bravone, sous les villages de Matra et de Moïta, l'autre se trouve au voisinage du ruisseau, affluent de cette rivière, qui descend de cette dernière localité.

Nous ne connaissons pas la composition exacte de leur eau, l'analyse n'en ayant probablement jamais été faite; mais, d'après la saveur, c'est bien à de l'eau du type Orezza que l'on a affaire; la ressemblance est même frappante. L'une d'entre elles est seulement un peu plus magnésienne et même légèrement purgative, comme la Sorgente Sottana de Rapaggio.

Ces quatre sources sont situées très exactement sur l'alignement des sources d'Orezza et d'Alésani.

Pour mettre mieux en relief cet alignement des sources bicarbonatées ferrugineuses, nous avons repéré leur situation exacte sur une carte au  $\frac{1}{80.000}$ . En attribuant

à chaque source un poids proportionnel à son débit, le centre de gravité de l'ensemble tombe à environ 500 mètres au sud-ouest de la source départementale d'Orezza, entre cette source et celle de Sainte-Madeleine de Rapaggio.

*Sources sulfurées sodiques.* — Les eaux dont il nous reste à parler sont loin de présenter un aussi remarquable groupement que les précédentes; elles sont, au contraire, disséminées sans ordre apparent sur la presque totalité de la surface granitique de l'île.

Il y a lieu d'en faire un premier classement selon qu'elles sont chaudes ou froides :

Toutes les sources chaudes sans exception, — et ce sont de beaucoup les plus nombreuses, — sourdent des terrains granitiques.

Quant aux sources froides, elles paraissent avoir subi une dénaturation assez avancée, soit par leur mélange avec de l'eau superficielle, soit par suite d'actions sur les terrains qu'elles traversent. Elles sont toutes situées dans les schistes lustrés, et parfois même à la limite de ceux-ci et des terrains sédimentaires qui les recouvrent.

Voici l'énumération de ces sources, telles qu'elles se présentent du nord au sud, avec les principaux caractères de chacune d'elles.

*Sources chaudes émergeant du granite.* — *Guagno.* — Ces sources sont situées dans la commune de Poggiolo, près de la rivière de Guagno, à 12 kilomètres à l'est du village de Vico, auquel l'établissement thermal est réuni par une route départementale.

Elles sourdent du granite normal, qui est la roche dominante dans la région.

La source principale, ou Grande-Source, a une température de 52°; son débit est de 58 litres à la minute.

Il en existe une autre, dite « Source des yeux », moins abondante (6 litres à la minute) et moins chaude (36°), à une centaine de mètres de la source principale.

Grâce à une installation relativement confortable, les sources de Guagno sont parmi les plus fréquentées de la Corse. Une partie de l'établissement, qui est la propriété du département, est réservée aux militaires.

L'eau de Guagno est sulfureuse sodique et dépose en abondance de la barégine; elle est très semblable aux eaux sulfurées des Pyrénées.

Ces sources ont été déclarées d'intérêt public le 7 septembre 1840.

**Caldanelle.** — Cette source est située à l'ouest de Vico, au bord du ruisseau de Balagna, sous la route nationale n° 195, à laquelle elle est rattachée par un petit chemin muletier.

Les deux sources voisines, qui sourdent du granite, ont une température de 34°, leur débit est de 25 litres par minute. Elles sont à peine utilisées.

Leur nature est sensiblement la même que celle des eaux de Guagno.

**Caldanicia.** — La source de Caldanicia est située à l'origine de la plaine alluviale de la Gravona, à un peu moins de 9 kilomètres d'Ajaccio par la route, et à 50 mètres de la première station du chemin de fer d'Ajaccio à Bastia. Elle sort du granite granulitisant qui constitue le mamelon de Monte Sant'Angelo.

L'eau sulfureuse sodique a une température de 37°; le débit est de 14 litres par minute. Elle est relativement peu utilisée, malgré sa proximité d'Ajaccio, la malaria rendant inhabitable la plaine du Campo dell'Oro de juin à

octobre. L'établissement de Caldanicia est d'ailleurs assez primitif.

La source est déclarée d'intérêt public depuis le 2 décembre 1832.

**Guitera.** — Cette source est située à 3 kilomètres à l'ouest de Zicavo; elle sourd près du lit du Taravo, à la limite du granite normal et des gneiss, qui forment une bande large de 2 kilomètres, orientée N. O. — S. E. entre Guitera et Zicavo.

Le captage, fait en 1835, est très simple et consiste en un puits en maçonnerie de 4 mètres de diamètre intérieur et de 1<sup>m</sup>,80 de hauteur, qui coiffe les griffons. Deux établissements s'alimentent à ce puits. L'eau est à la température de 37°, le débit de la source est de 60 litres à la minute. Ces eaux sont assez fréquentées.

**Orbalacone.** — La source d'Orbalacone, désignée sur la carte d'État-Major sous le nom de « Bains de Taccana », est située dans la commune de Zigliara, à quelques mètres sous la route nationale d'Ajaccio à Sartène, sur la rive droite du petit affluent du Taravo qui descend de Sainte-Marie-Siché. Cette eau, qui a une température de 32° et un débit de 30 litres à la minute, est utilisée seulement par les gens du pays dans un établissement des plus primitifs.

**Sollacaro.** — Une source de même nature, mais froide, existe au sud-ouest de la précédente, à 4 kilomètres environ du village de Sollacaro, dans la vallée du Taravo, au lieu dit La Giunca.

Elle n'est pas captée et n'est utilisée jusqu'ici que par les gens du pays. Elle est très efficace, paraît-il, pour les maladies d'yeux et la guérison des plaies.

**Baracci.** — La « caldane » de Baracci appartient évidemment au même groupe que les précédentes; elle est située à 1 kilomètre à l'est de la route nationale d'Ajaccio à Sartène, au fond du golfe de Valinco. Le village qui en est le plus proche est Propriano.

L'eau minérale sourd à la surface du granite granulitique qui constitue la masse des terrains environnants, qui en cet endroit sont recouverts sur 8 à 10 mètres d'épaisseur par les alluvions de la petite rivière de Baracci. Autrefois il n'existait qu'un puits profond de 5 mètres, où se rassemblait l'eau minérale plus ou moins boueuse qui filtrait à travers ces terrains d'alluvion. En 1886, on y a construit un petit établissement et on a foré deux sondages jusqu'à la rencontre du granite à la profondeur de 10 mètres. L'eau minérale obtenue par ces sondages a une température de 47°; le débit est d'environ 50 litres à la minute. Par contre, la température de l'eau de l'ancien puits de captage, distant de 8 mètres du sondage le plus rapproché, est tombée à 18°, et son volume a beaucoup diminué. On ne s'en sert plus que pour obtenir par mélange avec l'eau chaude la température convenable pour les bains.

Cette source est autorisée par arrêté ministériel du 25 août 1881.

Tallano. — Gueymard, qui a visité cette source en 1820-1821, en parle en ces termes :

« Les eaux thermales du Tallano sont sur la rive gauche du Fiumicicoli, au bord du torrent. Elles sourdent dans un bassin en maçonnerie qui a 6 mètres de longueur, 2<sup>m</sup>,00 de large et 0<sup>m</sup>,60 à 1 mètre de profondeur.

« Ce bassin n'est point couvert, et, comme à Baracci, les malades se retirent sous des tentes de feuillage, après avoir passé une heure dans ces eaux thermales. Il n'y a ni maison, ni baraque, ni moyen de se procurer des provisions. Il faut emporter tout ce qui peut être nécessaire. Ces eaux ont 31° Réaumur. Elles laissent dégager, comme les précédentes, beaucoup d'hydrogène sulfuré. »

Nous avons visité cette source en 1887, et la descrip-

tion qu'en donne Gueymard, sauf l'assimilation à Baracci, s'y applique encore à la lettre.

La température de cette « Caldane » est de 39 à 40°, et le débit d'environ 15 litres à la minute.

Le terrain d'où elle sourd est constitué par un beau granite à feldspath rose; c'est à 2 kilomètres environ au nord-est de cette source, près de la pointe Campolaccia, que se trouve le gisement de la diorite orbiculaire.

Les autres sources sulfureuses dont il nous reste à parler sont situées sur le versant oriental.

Travo. — Dans le lit de la rivière du Travo il existe deux petites sources minérales sulfureuses non captées, et où l'eau est, selon toute vraisemblance, mélangée d'eau d'infiltration. Elle est, malgré cela, un peu chaude et dépose en abondance de la barégine. Nul doute qu'elle ne soit de même nature que celle des sources de Pietrapola, situées à 7 kilomètres plus au nord.

L'une de ces sources a son point d'émergence sur la rive droite du Travo tout à fait au bord de la rivière, un peu au-dessus du hameau de Corlo; elle sourd au contact de la granulite et des schistes éocènes qui les recouvrent. Il existe en outre tout au voisinage de ce point un filon de porphyre pétrosiliceux assez important.

La seconde est située un peu plus haut, toujours au bord du Travo, à quelques centaines de mètres en aval de son confluent avec le ruisseau de Thisa; elle sort de la granulite, qui, là, n'est plus recouverte par les formations éocènes.

Pietrapola. — Nous terminerons la série des eaux sulfurées sodiques chaudes par la description des sources de Pietrapola, qui sont parmi les plus belles et les plus fréquentées de la Corse.

Si l'on en croit Gueymard, qui a fait de ces bains une description pittoresque, laquelle ne correspond plus tout à fait à la vérité, par suite des aménagements apportés

aux sources depuis qu'il les visita, la célébrité de ces eaux remonterait aux Romains, qui y auraient fondé un établissement au temps où la colonie de Sylla occupait Aleria. Quoi qu'il en soit, il ne reste aucune trace de construction romaine à Pietrapola, pas plus d'ailleurs qu'à Aleria, et ce point d'histoire reste tout entier à élucider.

Les sources de Pietrapola — il y en a quatre ou cinq très voisines les unes des autres — sourdent au milieu du granite, au bord et sur la rive gauche de la rivière d'Abatesco, en un point qui est très voisin du contact entre ce granite et la protogine gneissique qui s'y termine en pointe; à 300 mètres à l'est commencent les schistes lustrés qui reposent directement sur cette dernière roche. Au sud de la rivière d'Abatesco, toutes ces formations disparaissent sous les terrains éocènes qui occupent les collines s'étendant sur les communes de Serra di Fium' Orbo, Ventiseri et Solaro.

Les quatre ou cinq sources utilisées au petit établissement construit sur le bord de la rivière doivent être considérées comme des diramations d'une seule et même venue d'eau, et un captage sérieux réunirait probablement la plupart d'entre elles. Toutes ces sources (Grande Source, Petite Source, Doccia, Pozzo Spiritato) n'ont pas une température constante, et les variations atteignent 5 à 6° selon les crues ou les maigres de la rivière voisine et les saisons. Une partie seulement de l'eau est utilisée, et l'une des sources qui émerge au pied du mur de soutènement de l'établissement se perd même complètement dans la rivière en donnant un abondant dépôt de barégine rouge.

La température maxima observée est de 58°, mais la grande source qui alimente presque à elle seule l'établissement se tient généralement au voisinage de 55°. Une autre, dite source froide, n'a que 35°. Le débit total de ces sources peut atteindre 50 à 60 litres à la minute.

Il existe à environ 1.800 mètres en amont de Pietrapola, au bord de la rivière, une autre source sulfureuse de moindre importance, qui jusqu'ici est restée sans emploi.

Une route départementale d'un peu moins de 10 kilomètres se détache de la route nationale n° 198, près de Migliacciaro, et conduit à ces bains, qui sont assez fréquentés, surtout par les habitants du versant oriental de la Corse.

*Sources sulfurées froides.* — Sous cette rubrique nous désignons des sources sulfurées calciques qui paraissent dériver des précédentes par voie d'altération et en sont assez distinctes pour qu'il y ait lieu d'en faire une catégorie à part.

*Puzzichello.* — L'établissement de Puzzichello, situé au nord du village d'Aghione et aujourd'hui desservi par la ligne du chemin de fer de la côte orientale, est l'un des plus fréquentés de la Corse.

Les eaux sulfurées calciques qu'on y utilise sont tout à fait différentes des précédentes et ont des propriétés tout autres. Elles sont d'ailleurs froides (17°), et sourdent au milieu des formations miocènes qui occupent une étendue considérable sur la côte orientale, entre le phare d'Alistro et Vadina, au sud d'Aleria.

Le débit des deux sources de Puzzichello est d'environ 11 litres par minute.

La composition des eaux est donnée par l'analyse suivante, faite par Lœtscher, en 1842 :

Hydrogène sulfuré.....	0 <sup>gr</sup> ,0470
Carbonate de chaux.....	0 ,2175
— magnésie.....	0 ,1010
Sulfate de chaux.....	0 ,0999
— magnésie.....	0 ,0407
<i>A reporter</i> .....	0 <sup>gr</sup> ,4591

	<i>Report</i> .....	0 <sup>gr</sup> ,4591
Sulfate de soude.....		0 ,1314
Chlorure de sodium.....		0 ,0692
— magnésium.....		0 ,0124
Silice.....		9 ,0100
Matière bitumineuse.....		0 ,0945
Glairine.....	indéterminée	
Total.....		0 <sup>gr</sup> ,6866

**Vadina.** — Une source de même nature que celle de Puzichello, mais beaucoup moins importante, est située auprès du hameau de Vadina, dépendance d'Aleria, au milieu du calcaire à Clypéastres.

**Fajo.** — Enfin il en existe une autre, également peu importante, à 125 mètres au nord de la route nationale de Corte à Aleria, au lieu dit Fajo (borne kilométrique 32<sup>km</sup>,500), dans un petit ravin qui débouche dans la vallée principale à l'est d'un grand méandre du Tavignano. L'eau en est sulfureuse, calcique, froide, et rappelle celle de Puzichello. Elle sort des schistes lustrés.

**Sources diverses.** — *Aquacetosa.* — A mi-distance entre Migliacciaro et Ornaso, au pied des collines éocènes de Serra-di-Fium'Orbo, soit à 2 kilomètres au sud de la route de Pietrapola, se trouve une source froide bicarbonatée sodique très nettement minérale, dénommée par les gens du pays « Aquacetosa », et qui n'a pas été utilisée jusqu'ici.

**Fontanello.** — Enfin, à 2 kilomètres au nord de Kamiesch (Solenzara), sur le côté ouest de la route nationale, en face du marais désigné sous le nom d'étang de Péri, on nous a signalé l'existence d'une source sulfureuse ferrugineuse qui n'est jusqu'ici ni captée ni utilisée.

Ces deux dernières sources sont très différentes des précédentes et n'ont pas d'équivalent en Corse.

Bordeaux, mars 1897.

## LÉGENDE DÉTAILLÉE DE LA PLANCHE V.

Carte des gîtes minéraux de la Corse à l'échelle de 1/640.000<sup>e</sup>.

## Gisements miniers (\*).

- Houille anthraciteuse.** — *Osani.*  
**Lignite** (éocène). — Poggio d'Oletta; Palasca; Ponte-Leccia (?).  
**Fer.** — Fer oxydulé dans les serpentines anciennes: *Farinole-Olmeta*; versant ouest du Monte Alticcione.  
 Fer oligiste dans les schistes amphiboliques: Venzolasca.  
 Fer oligiste dans les gneiss et granites: Moca-Croce.  
**Manganèse.** — Manganèse hydroxydé dans les schistes amphiboliques: Valle-di-Campoloro; Bisinchi.  
**Chrome.** — Fer chromé dans les serpentines anciennes: en petites quantités dans diverses localités du Cap Corse.  
**Antimoine.** — Antimoine sulfuré (accompagné accidentellement de cinabre) dans les schistes sériciteux: *Ersa*; *Méria*; *Luri*; Rogliano; Tuffi Bianchi; etc.  
 Antimoine sulfuré dans les schistes précambriens de l'ouest: Tetti.  
**Arsenic.** — Arsenic sulfuré (orpiment et réalgar) dans les schistes amphiboliques: Porta d'Ampugnani; Matra.  
**Plomb et zinc.** — Blende et galène plus ou moins argentifère. Dans les schistes amphiboliques: *Prato*.  
 — Dans les schistes précambriens: *Tartagine*; montagnes entre Asco et Tartagine; Pietralba; Bocca-Bassa.  
 — Dans la granulite: *Monticello*; *Argentella*; Monte-Grosso; Corscia; Casamaccioli.  
**Cuivre.** — Chalcopryrite, cuivre gris, cuivre natif, dans les serpentines associées aux diabases éocènes, et au contact des schistes éocènes: *Saint-Augustin*; *Ponte-Leccia*; *Linguizetta*; Navaccia; Pietralba; San-Quillico; Soveria; Casaluna; Serinano; Focicchia; Vezzani.  
 Chalcopryrite, dans les schistes précambriens: *Vallecalle* (*Argentella*).  
 Pyrite cuivreuse dans le granite: Revinda.  
 Pyrite de fer. — Pyrite plus ou moins cuivreuse, en imprégnation dans les schistes amphiboliques: *Cardo*; *Lancone*; *Tama*.

(\*) Les gisements concédés sont indiqués en italiques sur cette légende, et sont soulignés sur la carte.

**Matériaux exploités en carrière.****Matériaux de construction et d'ornementation.**

- Granite.** — Algajola; cap Cavallo; Iles Lavezzi; Porto-Vecchio; etc.  
**Syénite.** — Matoni, près Ajaccio; Quenza; etc.  
**Protogine.** — Corte; Lama; Urtaca; Serraggio; Ghisoni.  
**Diorite.** — Olmeto; Aullène; Méla; Tallano (diorite orbiculaire).  
**Porphyre.** — Niolo (nombreuses localités).  
**Porphyrite.** — Porraccia (Sisco).  
**Serpentine.** — Monte Marcolinco (Ersa) et nombreuses localités dans le Cap Corse.  
**Euphotide** (vert de Corse). — Vallées d'Orezza et d'Alésani.  
**Marbre** (calcaires cipolins): Erbalunga; Brando; cap Sagro (dalles); Bastia; Corte; etc.  
**Marbre** (infralias): Brèche dorée d'Oletta; Pietrabella près Ponte-Leccia.  
**Ardoises** (schistes amphiboliques). — Ville-di-Pietrabugno.  
**Pierre à chaux:**  
*Cipolins.* Très nombreuses localités du cap Corse et de la partie nord-est de l'île.  
*Carboniférien:* Campitello; Barbaggio.  
*Infralias:* La Coscia (Macinaggio); Capracotta (Solenzara); P<sup>ta</sup> d'Agnello (Conca); Oletta; Pietrabella; Piedigriggio; etc.  
*Eocène:* Pietralba; Palasca; Port de Favone; Sari-di-Porto-Vecchio; etc.  
*Miocène:* environs de Saint-Florent; Vadina (Aleria); Bonifacio.  
*Tufs quaternaires:* Port d'Arone (Piana).  
**Pierre à plâtre** (Trius). — San-Quilico.  
**Amiante.** — En auréoles autour des serpentines anciennes: Pietra-Mala, près Sant'Andrea-di-Cotone; col de S. Pietro; col d'Orezza; Saliceto; San-Lorenzo; Moïta; Lugo-di-Nazza; Pieve; etc.  
**Argile.** — Cap Corse et divers.

**Sources minérales.**

- Bicarbonatées ferrugineuses** (type Orezza). — Sources: Sorgente Soltana ou Départementale; Pardina; Caldane; Porta d'Ampugnani; Siala; du Pasteur; Tascavuota; Piane; Peretti (Stazzona); Sorgente Soprana; Mammuccia; Saint-Georges; Sainte-Madeleine; Rapaggio; Peretti (Alésani); Moïta; etc.  
 MN, Alignement général de ces sources.  
**Sulfurées sodiques.** — Chaudes: Guagno; Caldane; Caldaniccia (Ajaccio); Guitera; Orbalacone; Sollacaro; Baracci; Tallano; Travo; Pietrapola; etc.  
**Froides:** Puzzichello; Vadina; Fajo.  
**Bicarbonatées sodiques et calciques, et divers.** — Aquacetosa; Fontanello.

THÉORIE MATHÉMATIQUE  
 DE LA MACHINE A VAPEUR

## ACTION DES PAROIS

Par M. J. NADAL, Ingénieur au Corps des Mines.

La thermodynamique nous renseigne sur l'allure générale de l'évolution de la vapeur dans un cylindre de machine, et elle a permis d'établir, avec une complète exactitude, la théorie de la machine à vapeur parfaite, c'est-à-dire de la machine idéale où on pourrait réaliser exactement l'un des cycles à rendement maximum que cette science a fait découvrir. Mais la machine à vapeur réelle diffère singulièrement de la machine idéale en raison des phénomènes thermiques (condensations sur les parois, refroidissement extérieur du cylindre, action des espaces morts) et mécaniques (laminage de la vapeur, frottements, fuites), dont le cylindre est le théâtre, et qui ont pour résultat de déformer le cycle théorique fondamental. D'ailleurs, parmi toutes les causes de pertes, les condensations sur les parois sont de beaucoup les plus importantes.

Pour que la théorie de la machine à vapeur fût complète, il faudrait pouvoir faire une analyse mathématique exacte de tous ces phénomènes thermiques et mécaniques. On a admis jusqu'ici, comme Hirn le disait en 1876, qu'il est absolument impossible d'édifier *a priori* une théorie de la machine à vapeur d'eau d'un caractère scientifique et exact. Cette impossibilité n'est pas prouvée.

Les échanges de chaleur entre la vapeur et les parois métalliques des cylindres reposent évidemment, tout au moins dans leur allure générale, sur les lois ordinaires de la propagation de la chaleur entre deux corps. Ici l'un de ces corps est un métal absorbant facilement la chaleur et l'autre un fluide complexe (vapeur humide) constituant une source de chaleur à température sensiblement constante dans tous les points de l'espace que ce fluide occupe, mais variable avec le temps. Ces lois de la propagation de la chaleur ne sont pas modifiées par le fait qu'une pellicule liquide peut recouvrir la surface du métal, c'est-à-dire se trouver interposée entre la source et le solide échauffé; de là ne peut résulter qu'une modification du pouvoir absorbant du métal, mesuré par le coefficient de conductibilité extérieure. On s'expliquera plus tard sur les variations de ce coefficient.

La théorie mathématique de la propagation de la chaleur entre une source, dont la température varie avec le temps, et un corps solide peut s'établir, comme je vais le démontrer, avec une rigoureuse exactitude et toute la généralité nécessaire.

## CHAPITRE I.

### **Théorie de la propagation de la chaleur dans un mur chauffé par une source de chaleur à température variable.**

I. — Dans un mémoire antérieur (*Étude théorique du rendement réel des machines à vapeur; Annales des Mines*, juin 1893) j'ai exposé une méthode donnant l'intégrale générale des équations différentielles du mouvement de la chaleur dans un mur chauffé par une source à température variable, dans le cas où ce mouvement

s'effectue en ligne droite normalement à la surface plane en contact avec la source et ne se propage que sur une faible épaisseur de la paroi.

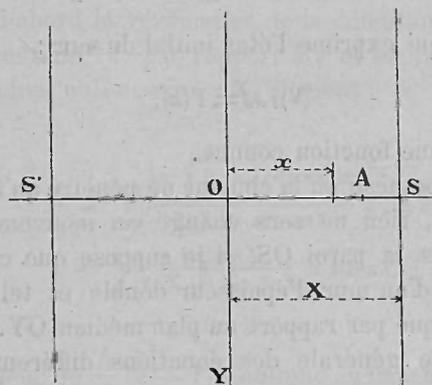


FIG. 1.

En appelant :

V, la température au temps  $t$  en un point quelconque de la paroi dont l'épaisseur est X;

$\theta$ , la température de la source, variable en fonction de  $t$ , le zéro des températures étant la température  $\theta_0$  de la source pour  $t = 0$ ;

K, le coefficient de conductibilité intérieure;

C, la chaleur spécifique;

D, la densité du métal qui constitue la paroi;

$h$ , le coefficient de conductibilité extérieure ou le pouvoir absorbant;

les équations différentielles du mouvement de la chaleur sont au nombre de trois, à savoir :

1° Celle qui exprime la propagation dans l'intérieur de la paroi :

$$(1) \quad \frac{dV}{dt} = \frac{K}{CD} \frac{d^2V}{dx^2}, \quad \text{ou} \quad \frac{dV}{dt} = k \frac{d^2V}{dx^2} \text{ en posant: } \frac{K}{CD} = k;$$

2° Celle qui exprime la propagation de la chaleur sur la surface en contact avec la source :

$$(2) \quad K \left( \frac{dV}{dx} \right)_{x=X} = h \left[ \theta - (V)_{x=X} \right];$$

3° Celle qui exprime l'état initial du mur :

$$(3) \quad (V)_{t=0} = F(x),$$

$F(x)$  étant une fonction connue.

Dans l'hypothèse où la chaleur ne pénètre qu'à une profondeur SA, rien ne sera changé au mouvement de la chaleur dans la paroi OS, si je suppose que cette paroi fasse partie d'un mur d'épaisseur double et tel que tout soit symétrique par rapport au plan médian OY.

L'intégrale générale des équations différentielles ci-dessus est dans ce cas :

$$(4) \quad V - \theta = \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nxdx}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-kn^2t} \\ - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^t e^{-kn^2(t-\tau)} \frac{d\theta}{d\tau} d\tau,$$

les quantités  $n$  étant les racines de l'équation transcendante :

$$(5) \quad \frac{nX}{\cotg nX} = \frac{hX}{K}$$

et la somme  $\sum$  devant comprendre toutes les racines positives de cette équation.

II. — Malgré mon désir d'éviter le plus possible tous développements purement mathématiques, je crois nécessaire de montrer comment on peut vérifier que l'intégrale trouvée satisfait effectivement aux trois équations de

conditions (1), (2) et (3), afin qu'il ne subsiste dans l'esprit aucun doute sur l'exactitude d'une équation dont les conséquences pratiques sont extrêmement importantes dans l'industrie des machines à vapeur.

Faisons d'abord la vérification de la condition (2).

En différentiant (4) par rapport à  $x$  et en faisant dans la dérivée ainsi obtenue  $x = X$ , il vient :

$$(6) \quad \left( \frac{dV}{dx} \right)_{x=X} = - \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nxdx}{2nX + \sin 2nX} n \sin nX e^{-kn^2t} \\ + \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} n \sin nX \int_0^t \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t-\tau)} d\tau$$

Or, la valeur de  $\frac{h}{K} (\theta - T)$  s'obtient en faisant dans (4) :  $x = X$ , après avoir changé le signe du second membre et multiplié par  $\frac{h}{K}$ . On a donc,  $T$  étant égal à  $V$ , pour  $x = X$  :

$$(7) \quad \frac{h}{K} (\theta - T) = - \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nxdx}{2nX + \sin 2nX} \frac{h}{K} \cos nX e^{-kn^2t} \\ + \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{h}{K} \cos nX \int_0^t \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t-\tau)} d\tau.$$

On voit que les seconds membres des expressions (6) et (7) sont égaux si on a :

$$n \sin nX = \frac{h}{K} \cos nX.$$

Cette condition, qui n'est autre que la relation (5), est effectivement satisfaite.

Vérifions maintenant l'équation (1).

On a, en différentiant (4) par rapport à  $t$  :

$$(8) \quad \frac{dV}{dt} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\theta}{dt} - \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nx dx}{2nX + \sin 2nX} kn^2 \cos nxe^{-kn^2t} \\ + \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} kn^2 \cos nx \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)} \\ - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \frac{d\theta}{dt} \end{array} \right.$$

En effet, dans le deuxième membre de (4), on trouve à différentier le second terme qui est une intégrale définie dont une des limites,  $t$ , est variable. On sait que, étant donnée une intégrale définie :

$$u = \int_a^b f(x, t) dx$$

à différentier par rapport à  $t$  dans le cas où  $a$  et  $b$  sont fonction de  $t$ , on a :

$$\frac{du}{dt} = \int_a^b \frac{df}{dt} dx + f(b, t) \frac{db}{dt} - f(a, t) \frac{da}{dt}.$$

Donc, si je pose :

$$u = \int_0^t \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t-\tau)} d\tau,$$

il vient, en différentiant par rapport à  $t$  :

$$\frac{du}{dt} = \int_0^t kn^2 \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t-\tau)} d\tau + \frac{d\theta}{dt}.$$

Prenons maintenant la dérivée seconde par rapport à  $x$  de l'intégrale (4), on a :

$$(9) \quad \frac{d^2V}{dx^2} = - \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nx dx}{2nX + \sin 2nX} n^2 \cos nxe^{-kn^2t} \\ + \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} n^2 \cos nx \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)}.$$

En comparant les expressions (8) et (9), on voit que, si, dans (8), le premier et le quatrième terme du second membre se détruisent, c'est-à-dire si on a :

$$(10) \quad \frac{d\theta}{dt} \left[ 1 - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \right] = 0,$$

les termes qui subsistent dans  $\frac{dV}{dt}$  seront égaux respectivement aux termes de  $\frac{d^2V}{dx^2}$  (9) multipliés par  $k$ . Alors la condition (1) sera satisfaite.

Avant d'examiner si la relation (10) est vraie, faisons la vérification de la condition (3). Il faut pour cela poser  $t = 0$  dans l'intégrale (4). Pour  $t = 0$ , on a  $\theta = 0$ , puisqu'on a pris comme zéro des températures la température initiale de la source. Il vient alors :

$$(11) \quad (V)_{t=0} = \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nx dx}{2nX + \sin 2nX} \cos nx.$$

Pour que la condition (3) soit réalisée, il faut que le second membre de (11) soit égal à  $F(x)$ , état initial des températures dans le mur.

Fourier a démontré (*Théorie analytique de la chaleur*, pp. 513 et suivantes) que, si une fonction quelconque  $F(x)$  peut être développée en une série de cosinus d'arcs  $nx$ , les quantités  $n$  étant les racines de l'équation transcendante :

$$n \operatorname{tang} nX = C^2,$$

on a identiquement, pour une valeur quelconque de  $x$  comprise entre 0 et  $X$  :

$$F(x) = \sum \frac{4n \int_0^X F(x) \cos nx dx}{2nX + \sin 2nX} \cos nx,$$

cette somme devant comprendre toutes les racines positives de l'équation transcendante.

Si je fais  $F(x) = 1$ , on a l'identité suivante :

$$1 = \sum \frac{4 \sin nx}{2nX + \sin 2nX} \cos nx.$$

Par conséquent, les conditions (10) et (11) sont vérifiées pour toutes les valeurs de  $x$  comprises entre 0 et  $X$ .

Quant à la possibilité de développer une fonction en une série de cosinus d'arcs  $nx$ , que Fourier avait admise sans démonstration, elle a été démontrée par M. Poincaré (*Théorie analytique de la propagation de la chaleur*; Paris, Carré, 1895) et est la conséquence d'une théorie de Cauchy sur le développement d'une fonction arbitraire en série de forme déterminée.

III. — L'intégrale générale (4) s'applique exactement aux parois planes des cylindres de machines à vapeur et

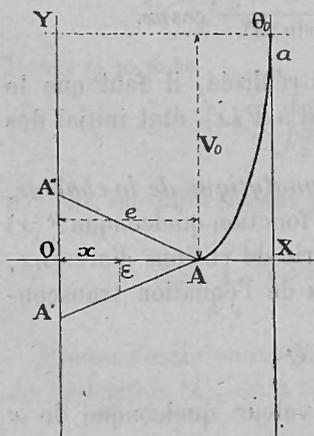


Fig. 2.

approximativement aux parois cylindriques. Mais, pour faire cette application, il faut d'abord déterminer la fonction  $F(x)$ , qui représente l'état initial des températures dans la paroi, en se basant sur ce que la température  $\theta$  de la source est une fonction périodique du temps.

L'expérience montre que le flux de chaleur échangé entre la vapeur et la paroi d'un cylindre ne pénètre qu'à une profondeur limitée, jus-

qu'en A par exemple (*fig. 2*), et que le restant OA de la paroi est, par suite, soumis à un régime constant. La

paroi perd de la chaleur à l'extérieur, si elle est baignée par l'air ambiant, ou en reçoit, au contraire, si elle est plongée dans un milieu ayant une température plus élevée que la sienne propre (cas des enveloppes de vapeur). Dans les deux cas l'état de la température de la partie OA sera représenté par une droite :  $AA'$ , s'il y a refroidissement extérieur;  $AA''$ , s'il y a réchauffement extérieur. Dans la partie AX de la paroi, l'état de la température est représenté par une courbe inconnue  $Aa$ , qui est tangente en A soit à  $AA'$ , soit à  $AA''$ .

Il s'agit de trouver quelle est cette courbe  $Aa$ , à l'origine du temps, c'est-à-dire au commencement d'une révolution, lorsque la marche de la machine est uniforme.

Pour simplifier, nous remarquerons que, dans les machines sans enveloppe de vapeur tout au moins, l'échange extérieur de chaleur est faible comparativement aux quantités de chaleur échangées intérieurement, d'où il suit que la droite  $AA'$  est très rapprochée de l'horizontale OA. Ce fait a été vérifié expérimentalement par M. Bryan Donkin. Nous pouvons donc supposer tout d'abord que  $AA'$  se confond avec OA, ou qu'il n'y a pas de refroidissement extérieur. Cette restriction sera d'ailleurs levée un peu plus loin.

Si nous envisageons une série de révolutions uniformes, en nombre suffisamment grand, il est évident que la paroi finit par acquérir un état de chaleur permanent, variable dans chaque révolution, mais se reproduisant périodiquement, de même que l'état de la source de chaleur. Cet état permanent est donc déterminé et résulte uniquement de la loi des températures de la vapeur. Mais, au début de notre série de révolutions, l'état de la paroi est complètement arbitraire et nous pouvons supposer, par exemple, que la température  $y$  est constante et égale à  $V_0$  pour  $t = 0$ , origine de la première révolution. En partant de là, nous allons pouvoir trouver les états successifs de la

paroi au début de chaque révolution et finalement l'état permanent.

IV. — Nous supposons d'abord que le diagramme des températures de la vapeur dans le cylindre est fermé ou continu, c'est-à-dire que, à la fin d'un tour, la température, par suite de la compression et de l'avance à l'admission, est ramenée à sa valeur initiale  $\theta_0$ , ou zéro. Soit  $t_1$  la durée d'un tour.

L'équation (4) nous donne à chaque instant l'état de la paroi pendant la première révolution, en y faisant  $F(x) = V_0$ , étant admis qu'on connaisse le diagramme des températures de la vapeur,  $\theta = f(t)$ . En remplaçant  $t$  par  $t_1$ , et remarquant que pour  $t = t_1$ , comme pour  $t = 0$ ,  $\theta = 0$ , on aura l'état de la paroi à la fin du premier tour; il vient :

$$V_1 = V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-kn^2 t_1} - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)}$$

Si j'applique maintenant l'équation (4) au deuxième tour, considéré indépendamment du premier, la fonction  $F(x)$  qui entre dans l'équation (4) n'est autre que la quantité  $V_1$  donnée par l'équation ci-dessus.

L'intégrale définie qui se trouve dans le premier terme de (4) est donc :

$$\begin{aligned} \sum \frac{4n}{2nX + \sin 2nX} \int_0^X F(x) \cos nx dx &= \sum \frac{4n}{2nX + \sin 2nX} \int_0^X V_1 \cos nx dx \\ &= \sum \frac{4n}{2nX + \sin 2nX} \int_0^X \cos nx dx \left[ V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-kn^2 t_1} \right. \\ &\quad \left. - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} \right] \end{aligned}$$

Sous le signe  $\int$ , il y a une série infinie de termes en

$\cos nx$  à multiplier par  $\cos nx$  et à intégrer de 0 à X. On sait que, lorsque les quantités  $n$  sont différentes, le résultat de l'intégration est nul. Il n'y a donc qu'un seul terme de la série qui donne un résultat différent de zéro. L'intégration s'effectue alors sans difficulté, et il vient :

$$\begin{aligned} &\sum \frac{4n}{2nX + \sin 2nX} \int_0^X F(x) \cos nx dx \\ &= V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} e^{-kn^2 t_1} - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} \end{aligned}$$

L'équation du mouvement de la chaleur pendant la seconde révolution, le temps  $t$  étant compté à partir de son origine, est alors :

$$\begin{aligned} V - \theta &= V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} e^{-kn^2 t_1} \cos nx e^{-kn^2 t} \\ &\quad - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} \cos nx e^{-kn^2 t} \\ &\quad - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)} \end{aligned}$$

En faisant dans cette équation  $t = t_1$ , nous aurons l'état  $V_2$  de la paroi au bout de la seconde révolution. Il vient :

$$\begin{aligned} V_2 &= V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-2kn^2 t_1} \\ &\quad - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx (1 + e^{-kn^2 t_1}) \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} \end{aligned}$$

La valeur de l'état initial  $F(x)$ , au début de la troisième révolution, n'est autre que  $V_2$ . Nous pouvons donc établir l'équation de la chaleur et l'état de la paroi à la fin du troisième tour, comme nous venons de le faire pour le

second. On trouve ainsi sans difficulté :

$$V_3 = V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-3kn^2 t_1} \\ - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx (1 + e^{-kn^2 t_1} + e^{-2kn^2 t_1}) \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)}$$

La loi de formation des valeurs successives de  $V$  apparaît clairement. Rien n'est plus facile que de démontrer que, si la loi est vraie pour la valeur  $V$  d'ordre  $p$ , elle l'est aussi pour la valeur  $V$  d'ordre  $p + 1$ . On a donc :

$$V_p = V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-pkn^2 t_1} \\ - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx (1 + e^{-kn^2 t_1} + e^{-2kn^2 t_1} + \dots + e^{-(p-1)kn^2 t_1}) \\ \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)}$$

et l'état permanent s'obtient en faisant  $p = \infty$ .

On voit qu'alors le premier terme, en  $V_0$ , disparaît, ce qui, physiquement, signifie que l'état initial, essentiellement passager, n'exerce aucune influence sur le cours final du phénomène, et était aisé à prévoir.

Quant au second terme, la série exponentielle, qui y entre comme facteur, a pour somme :

$$\frac{1 - e^{-pkn^2 t_1}}{1 - e^{-kn^2 t_1}} = \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}}, \text{ pour } p = \infty.$$

Nous avons donc pour l'état initial de la paroi en régime permanent :

$$F(x) = - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \cos nx \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)}$$

Cette relation nous permet d'écrire immédiatement l'équation générale du mouvement de la chaleur en régime

permanent, qui est :

$$V = 0 = - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \cos nx e^{-kn^2 t} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} \\ (A) \quad - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)}$$

V. — Pendant le régime variable, l'état de la paroi n'est pas le même au commencement et à la fin d'un tour. Par suite, la paroi prend ou abandonne à la vapeur une certaine quantité de calorique. Il n'en est plus de même lorsque le régime permanent est établi, et alors, dans la durée d'un tour, la quantité de chaleur cédée par la vapeur à la paroi est intégralement restituée par la paroi à la vapeur. On doit donc avoir,  $T$  étant la valeur de  $V$  sur la surface intérieure, c'est-à-dire pour  $x = X$  :

$$(a) \quad \int_0^{t_1} h(T - \theta) dt = 0.$$

Dans le cas (qui d'ailleurs se produit toujours en pratique) où la paroi extérieure échangerait une certaine quantité,  $\varepsilon$ , de chaleur avec une source extérieure, air ambiant ou enveloppe de vapeur, la relation ci-dessus se transformerait en la suivante :

$$\int_0^{t_1} h(T - \theta) dt = \pm \varepsilon.$$

Ce cas général sera, du reste, traité plus loin.

Pour en revenir à l'équation (A), elle doit satisfaire à la condition (a), et il est intéressant d'en faire la vérification.

Faisons dans (A)  $x = X$ , et prenons l'intégrale de 0 à  $t_1$ . On doit avoir :

$$0 = \left\{ - \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} \int_0^{t_1} e^{-kn^2 t} dt \right. \\ \left. - \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \int_0^{t_1} dt \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)} \right\}$$

ou bien, puisque :

$$\int_0^{t_1} e^{-kn^2 t} dt = \frac{1 - e^{-kn^2 t_1}}{kn^2}$$

$$(b) 0 = - \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \left[ \frac{1}{kn^2} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)} + \int_0^{t_1} dt \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)} \right]$$

On peut démontrer, mais cela nous conduirait trop loin, que l'intégrale double de cette dernière équation se transforme comme il suit :

$$\int_0^{t_1} dt \int_0^t \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t-\tau)} d\tau = \frac{1}{kn^2} \int_0^{t_1} \frac{d\theta}{dt} dt - \frac{1}{kn^2} \int_0^{t_1} \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t-\tau)} d\tau.$$

Or :

$$\int_0^{t_1} \frac{d\theta}{dt} dt = \theta_1 - \theta_0 = 0,$$

lorsque la température de la vapeur est la même au commencement et à la fin de la révolution. Il en résulte donc que l'intégrale double de l'équation (b) est égale et de signe contraire à l'intégrale simple de la même équation; la somme est donc nulle, et la condition (a) est vérifiée.

L'intégrale (a) doit aussi satisfaire à une seconde condition. Pour  $t = 0$  et pour  $t = t_1$ , on doit trouver la même valeur de  $V$ , par suite de la définition même de l'état permanent. Il est aisé de constater qu'il en est ainsi.

VI. — Nous avons supposé jusqu'ici que la température  $\theta_1$  de la vapeur à la fin d'une révolution était égale à la température initiale, c'est-à-dire nulle. Il n'en est pas ainsi le plus souvent. Dans les machines où la compression est courte et l'ouverture des lumières d'admission rapide, la température de la vapeur à la fin d'un tour est moins

élevée que la température d'admission et passe presque instantanément de la valeur  $\theta_1$  à la valeur  $\theta_0 = 0$ . Cette discontinuité dans la température de la source modifie la forme de l'équation du mouvement de la chaleur dans la paroi métallique.

Cherchons quelle est, dans ce cas, la forme de la fonction  $F(x)$  relative au régime permanent. Nous considérons, comme au § 4, une série de révolutions, à l'origine desquelles on peut admettre dans la paroi un état des températures arbitraires, par exemple  $F(x) = C^0 = V_0$ .

Nous appliquerons l'équation (4) en y faisant  $t = t_1$ , pour avoir l'état de la paroi à la fin de la première révolution. D'ailleurs pour  $t = t_1$ , on a  $\theta = \theta_1$ , et il vient :

$$V_1 = \theta_1 + V_0 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-kn^2 t_1} - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1-\tau)}$$

Cette équation nous donne l'état initial  $F(x) = V_1$ , au début de la deuxième révolution. Nous pouvons donc calculer l'expression de  $V - \theta$  pendant le deuxième tour. On voit tout de suite que les deux derniers termes de l'équation ci-dessus nous conduiront à des calculs identiques à ceux effectués au § 4 et nous donneront, par suite, des fonctions,  $M$ , déjà connues.

Mais nous avons en plus un terme en  $\theta_1$  qui, lorsqu'on calculera la valeur de :

$$(c) \sum \frac{4n}{2nX + \sin 2nX} \int_0^X F(x) \cos nx dx,$$

nous donnera l'expression :

$$\theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX}.$$

Nous aurons donc pendant la seconde révolution :

$$V - \theta = \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-kn^2 t} + M_1,$$

et à la fin de la seconde révolution :

$$V_2 = \theta_1 + \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx e^{-kn^2 t_1} + M_2.$$

Pour le troisième tour, je calcule la partie de l'intégrale définie (c) qui se rapporte au terme en  $\theta_1$  de  $V_2$ . Il vient :

$$V - \theta = \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} (1 + e^{-kn^2 t_1}) \cos nx e^{-kn^2 t} + M,$$

d'où :

$$V_3 = \theta_1 \left[ 1 + \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} (e^{-kn^2 t_1} + e^{-2kn^2 t_1}) \cos nx + M_3 \right].$$

On voit, sans aller plus loin, quelle est la loi de formation du terme en  $\theta_1$ , et on a pour la  $p^{\text{ième}}$  révolution :

$$V - \theta = \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} (1 + e^{-kn^2 t_1} + e^{-2kn^2 t_1} + \dots + e^{-(p-1)kn^2 t_1}) \cos nx e^{-kn^2 t} + M.$$

La série exponentielle a pour somme :  $\frac{1 - e^{-pkn^2 t_1}}{1 - e^{-kn^2 t_1}}$

et se réduit à :  $\frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}}$  pour  $p = \infty$ .

Nous avons donc l'équation générale :

$$(A') \quad V - \theta = \begin{cases} \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \cos nx e^{-kn^2 t} \\ - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \cos nx e^{-kn^2 t} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1 - \tau)} \\ - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t - \tau)} \end{cases}$$

On peut faire subir à cette équation les deux vérifications dont il est parlé au § 5.

1° En faisant  $t = 0$  et  $t = t_1$ , on doit obtenir pour  $V$  la même valeur. On sait déjà que l'ensemble  $M$  des deux derniers termes satisfait à cette condition. Dès lors, pour  $t = 0$ , il vient :

$$V_0 = \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \cos nx + M,$$

et pour  $t = t_1$  :

$$V_1 = \theta_1 + \theta_1 \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \frac{e^{-kn^2 t_1}}{1 - e^{-kn^2 t_1}},$$

d'où :

$$V_1 - V_0 = \theta_1 \left[ 1 - \sum \frac{4 \sin nX}{2nX + \sin 2nX} \cos nx \right].$$

On a vu, au § 2, que le facteur de  $\theta_1$  est nul quel que soit  $x$ . Donc :

$$V_1 = V_0.$$

2° Pour  $x = X$ , on doit avoir :

$$\int_0^{t_1} (V - \theta) dt = 0.$$

En calculant cette intégrale d'après l'équation (A'), il vient :

$$\int_0^{t_1} (V - \theta) dt = \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \left[ \frac{\theta_1}{kn^2} - \frac{1}{kn^2} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1 - \tau)} - \int_0^{t_1} dt \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t - \tau)} \right]$$

et on a vu au § 5 qu'on a :

$$\int_0^{t_1} dt \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t - \tau)} = \frac{\theta_1}{kn^2} - \frac{1}{kn^2} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1 - \tau)}$$

Le facteur entre parenthèses dans  $\int_0^{t_1} (V - \theta) dt$  est donc nul, et la condition est vérifiée.

VII. — Pour nous trouver exactement dans les conditions réelles de la pratique, il faut que nous supposions enfin qu'il y a échange de chaleur entre la surface extérieure de la paroi et le milieu ambiant. En régime permanent, la quantité de chaleur ainsi échangée est constante pour chaque révolution; par conséquent, à partir du point A (*fig. 2*), où les variations intérieures périodiques de la température ne se font plus sentir, la courbe des températures est représentée par une droite AA' dont l'inclinaison est telle que le flux de chaleur de ou vers l'extérieur est  $\pm \rho$ . L'ordonnée de cette droite pour un point situé à la profondeur  $x$  est, en appelant  $e$  la distance OA, et K le coefficient de conductibilité :

$$\varepsilon = \frac{\rho}{K} (e - x),$$

Dans les paragraphes précédents nous avons calculé l'état permanent initial  $F(x)$  en admettant qu'au début la température de la paroi est constante et égale à  $V_0$ ,  $V_0$  étant arbitraire. On peut donc supposer que  $V_0$  est la température toujours invariable du point A et, en négligeant le flux de chaleur vers l'extérieur, nous n'avons pas tenu compte d'un terme qui a pour expression :

$$\int_0^e \varepsilon \cos nx dx,$$

et dont la valeur est :

$$\int_0^e \frac{\rho}{K} (e - x) \cos nx dx = \frac{\rho}{K} \frac{1 - \cos ne}{n^2}$$

D'ailleurs,  $e$  étant ordinairement voisin de X, on peut poser  $e = X$ .

Dans le second membre de l'intégrale générale (A'), il faudrait donc ajouter le terme suivant :

$$\frac{\rho}{K} \sum \frac{4(1 - \cos nX)}{n(2nX + \sin 2nX)} \cos nxe - kn^2t.$$

Il y a lieu de remarquer que le raisonnement ci-dessus n'est pas tout à fait exact et que, par suite, l'équation qui en résulte n'est qu'approchée : 1° parce qu'on a supposé implicitement que la température constante  $V_0$  du point A restait la même, qu'il y eût ou non échange extérieur de chaleur; 2° parce que l'équation obtenue implique que l'état des températures représenté par la droite AA' ne se conserve pas pendant la durée d'une révolution, mais se rapproche de OA. Il est d'ailleurs facile de reconnaître que l'intégrale (4) n'est applicable, d'une manière entièrement exacte, à un mouvement périodique tel que celui que nous avons à considérer dans les machines à vapeur, mouvement qui n'est réalisé qu'après un grand nombre de révolutions, que si la température du mur, dans la partie où celui-ci est soustrait aux fluctuations de la source, est constante en tous les points.

Pour avoir une équation applicable au cas, d'ailleurs général, où il y a flux de chaleur de ou vers l'extérieur, il faut résoudre un problème analytique beaucoup plus compliqué que celui que nous avons posé pour établir l'intégrale (4). Ce problème est le suivant : Étant donné un mur d'épaisseur X, les autres dimensions étant infinies, dont la température initiale est une fonction donnée  $F(x)$ , chauffé sur une des faces par une source de chaleur à température  $\theta$  variable avec le temps et dont l'autre face conserve une température arbitraire et constante,  $A_0 = F(0)$ , déterminer l'état du mur au bout d'un temps  $t$ .

Pour résoudre ce problème, aux trois conditions (1), (2)

et (3) du § 1, il faut en ajouter une quatrième, à savoir : que, lorsque dans l'intégrale  $V = \varphi(x, t)$  on fait  $x = 0$ , on ait :

$$\varphi(0, t) = A_0,$$

quel que soit  $t$ .

Je ne développerai pas ici la solution de ce problème, bien qu'elle présente un grand intérêt au point de vue mathématique, mais je vais donner la forme des intégrales.

Lorsque la température de la source est une fonction quelconque du temps, l'intégrale est la suivante :

$$V = \left\{ \begin{array}{l} A_0 + \sum_{m_1}^{m_\infty} \frac{4m \int_0^X [F(x) - A_0] \sin mxdx}{2mX - \sin 2mX} \sin mxe^{-km^2t} \\ - \sum_{m_1}^{m_\infty} \sum_{n_1}^{n_\infty} \frac{16 \sin nX}{(2mX - \sin 2mX)(2nX + \sin 2nX)} \frac{km^2n^2}{m^2 - n^2} \sin mx \\ \int_0^t (A_0 - \theta) e^{-km^2(t-\tau)} d\tau. \end{array} \right.$$

Dans cette équation les quantités  $n$  sont les racines positives, en nombre infini, de l'équation transcendante :

$$n \operatorname{tang} nX = \frac{h}{K},$$

et les quantités  $m$  les racines positives de l'équation :

$$\frac{m}{\operatorname{tg} mX} = -\frac{h}{K},$$

la double somme, qui constitue le dernier terme de l'équation, doit s'appliquer à toutes les valeurs positives des  $n$  et des  $m$ .

Lorsque la température de la source de chaleur est, comme dans la machine à vapeur, une fonction périodique du temps et qu'on considère le régime permanent, la fonction arbitraire  $F(x)$  disparaît, et l'intégrale générale prend

la forme suivante :

$$(B) \quad V = A_0 - \sum \sum \frac{16 \sin nX}{(2mX - \sin 2mX)(2nX + \sin 2nX)} \frac{km^2n^2}{m^2 - n^2} \sin mx \\ \left[ \int_0^t (A_0 - \theta) e^{-km^2(t-\tau)} d\tau + \frac{e^{-km^2t}}{1 - e^{-km^2t_1}} \int_0^{t_1} (A_0 - \theta) e^{-km^2(t_1-\tau)} d\tau \right].$$

Cette équation résout complètement et dans tous les cas le problème du mouvement de la chaleur dans les parois des cylindres.

Proposons-nous, par exemple, de l'appliquer au cas des enveloppes de vapeur. La paroi est baignée extérieurement par de la vapeur à la température  $T_0$ . Le flux de chaleur sur la surface extérieure est donc :

$$h'(T_0 - A_0) = K \left( \frac{dV}{dx} \right)_{x=0}.$$

En admettant qu'on connaisse le coefficient de conductibilité extérieure  $h'$ , qui ne peut être trouvé que par des expériences, tout est connu dans cette équation, sauf  $A_0$ . On en tire donc cette valeur  $A_0$  qu'on porte dans l'équation (B), et on peut dès lors calculer le flux de chaleur en un point quelconque de la paroi, par exemple sur la surface intérieure. Nous n'insisterons pas pour le moment sur la théorie des enveloppes de vapeur.

## CHAPITRE II.

### Échanges de chaleur entre la vapeur et les parois des cylindres.

VIII. — A l'aspect des équations (A) et (B), qui représentent le mouvement de la chaleur dans les parois d'un cylindre, on pourrait penser qu'un phénomène naturel ayant pour expression mathématique des formules aussi compliquées n'est pas susceptible d'être étudié d'une façon

simple et vraiment pratique. Il n'en est rien cependant, et nous allons voir qu'on déduit de ces formules des conclusions d'une simplicité surprenante.

Nous nous servirons dans ce qui suit des intégrales (A), beaucoup plus simples que les intégrales (B) et qui suffisent pour la solution du problème dans le cas, de beaucoup le plus fréquent, où le cylindre n'est pas réchauffé extérieurement par une enveloppe de vapeur ou autrement, mais est simplement muni d'une enveloppe isolante.

La température  $\theta$  de la vapeur est connue par un diagramme théorique ou expérimental. On augmenterait beaucoup la complication en cherchant à exprimer  $\theta$  par une fonction algébrique, dans le but de calculer les intégrales définies qui se trouvent dans nos équations. Pour tourner la difficulté, nous remplacerons le diagramme  $\theta$  par une série de droites formant une ligne brisée. Il est d'ailleurs évident qu'en augmentant indéfiniment le nombre de côtés de cette ligne brisée on se rapprochera autant qu'on le voudra du diagramme vrai, et la rigueur ne perd rien à cette substitution.

Nous allons donc effectuer les intégrations dans le cas d'un diagramme polygonal. Considérons l'équation (A); en y faisant  $x = X$ , nous aurons la température  $T$  sur la surface intérieure des parois-couvercle (fond de cylindre et surface du piston), qui restent constamment exposées à la source de chaleur  $\theta$ . Il est clair que, si on parvient à trouver la valeur de  $T$ , on en déduira aisément la quantité de chaleur échangée pendant une durée quelconque  $t'' - t'$  par la quadrature :

$$\int_{t'}^{t''} h (T - \theta) dt.$$

Nous déduisons donc de (A) :

$$T - \theta = - \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \left[ \frac{e^{-kn^2 t}}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1 - \tau)} + \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t - \tau)} \right].$$

Nous nous proposons plus spécialement, tout d'abord, de calculer la chaleur échangée pendant l'admission. Il suffit alors de connaître  $T = \theta$  pendant cette phase. On remarque que, si la température de la vapeur restait constante pendant l'admission, le second terme de l'expression ci-dessus serait rigoureusement nul. En réalité, cette température varie légèrement, et le terme en question est petit. Nous en tiendrons compte plus loin et nous nous bornerons d'abord à étudier la quantité  $U$  :

$$U = - \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{e^{-kn^2 t}}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \int_0^{t_1} d\theta e^{-kn^2(t_1 - \tau)}.$$

Cherchons l'intégrale définie en partant d'un diagramme polygonal. En appelant  $t^I, t^{II}, t^{III}, t^{IV}, \dots$ , les temps correspondant aux sommets du polygone, on peut poser :

$$\int_0^{t^I} \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t_1 - \tau)} d\tau = \int_0^{t^I} \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t_1 - \tau)} d\tau + \int_{t^I}^{t^{II}} \dots + \int_{t^{II}}^{t^{III}} \dots + \int_{t^{III}}^{t^{IV}} \dots + \dots + \int_{t^p}^{t^I} \dots,$$

et chacune des intégrales du second membre est facile à calculer puisque, entre deux limites consécutives,  $\frac{d\theta}{d\tau}$  est constant et égal à  $\frac{\theta^{i+1} - \theta^i}{t^{i+1} - t^i}$ , en appelant  $\theta^i$  la température du sommet du polygone correspondant au temps  $t^i$ .

On aura donc :

$$\int_0^{t^I} d\theta e^{-kn^2(t_1 - \tau)} = \sum \frac{\theta^{i+1} - \theta^i}{t^{i+1} - t^i} \frac{e^{-kn^2(t_1 - t^{i+1})} - e^{-kn^2(t_1 - t^i)}}{kn^2},$$

cette somme devant s'étendre à tout le diagramme polygonal.

Nous porterons cette valeur dans U après avoir posé :

$$\sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{1 - e^{-kn^2 t_1}} \frac{e^{-kn^2 t}}{kn^2} = \varphi(t),$$

il vient :

$$U = \sum \frac{\theta^{i+1} - \theta^i}{\theta^{i+1} - \theta^i} [\varphi(t + t_1 - t^{i+1}) - \varphi(t + t_1 - t^i)].$$

Remarquons en passant que cette valeur de U exprime aussi le premier terme de l'équation (A'), qui est, après avoir fait  $x = X$  :

$$\theta_1 \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{e^{-kn^2 t}}{1 - e^{-kn^2 t_1}}.$$

En effet, dans l'expression

$$\frac{e^{-kn^2 t}}{kn^2} \frac{e^{-kn^2(t_1 - t^{i+1})} - e^{-kn^2(t_1 - t^i)}}{t^{i+1} - t^i},$$

faisons :

$$\begin{aligned} t^{i+1} &= t_1 \\ t^i &= t_1 - dt, \end{aligned}$$

et laissons de côté le facteur  $e^{-kn^2 t}$ ; elle n'est autre, alors, que la dérivée de  $e^{-kn^2(t_1 - t)}$ , multipliée par  $\frac{1}{kn^2}$ , et dans laquelle il faut faire  $t = t_1$ . On retrouve ainsi le terme en  $\theta_1$  ci-dessus. Cela revient d'ailleurs à admettre que, dans l'instant  $dt$ , la température finale  $\theta_1$  du diagramme remonte à zéro, et le raisonnement précédent montre qu'on peut envisager les choses de cette manière.

En résumé, nous pouvons dans tous les cas calculer la quantité U, c'est-à-dire l'écart entre la température de la vapeur et celle de la surface de la paroi pendant l'admission. Il suffit de connaître le diagramme des températures, qu'on divise en autant de sections qu'on le veut, et

d'avoir une table donnant les valeurs de  $\varphi$  en fonction du temps variable  $t$  et de la durée  $t_1$  d'un tour.

Pour construire cette table, il faut d'abord calculer les racines de l'équation :

$$nX \operatorname{tang} nX = \frac{h}{K} X.$$

J'ai effectué ce calcul avec les données suivantes (unités : centimètre, seconde, kilogramme) :

$X = 2,5$ ; c'est l'épaisseur ordinaire des parois; coefficient de conductibilité intérieure de la fonte,

$$K = 0,000165;$$

coefficient de conductibilité extérieure,  $h = 0,00086$ . Ce coefficient n'est qu'approximatif; la recherche de sa valeur exacte constitue justement l'objet principal de notre théorie, et il en sera longuement question plus loin.

$$\text{Densité de la fonte} \dots \dots \dots D = 0,00773$$

$$\text{Chaleur spécifique} \dots \dots \dots C = 0,113$$

On a pour  $k$  :

$$k = \frac{K}{CD} = \frac{0,000165}{0,00773 \times 0,113} = 0,1889.$$

Les valeurs  $n$  étant connues et rangées par ordre de grandeur croissante, on calcule les valeurs successives de  $2nX$ ,  $\sin 2nX$  et  $e^{-kn^2 t}$ . On obtient ainsi une série qui représente les quantités  $\varphi$ . Ces séries convergent très rapidement, même pour de très faibles valeurs de  $t$ .

Je donne ci-après un spécimen de la table des valeurs  $\varphi$ . Les nombres de ce tableau sont ceux qui ont servi à dresser les tableaux II, III, IV qu'on verra plus loin.

TABEAU N° I.

t <sub>1</sub> = 0°,2		0°,3		0°,5		1°		2°	
t	$\frac{\varphi}{2}$	t	$\frac{\varphi}{2}$	t	$\frac{\varphi}{2}$	t	$\frac{\varphi}{2}$	t	$\frac{\varphi}{2}$
0°	102,17356	0°	68,36214	0°	41,310531	0°	20,087354	0°	10,908396
0,01	102,0989	0,015	68,28573	0,025	41,292165	0,05	20,90834	0,1	10,818256
0,02	102,02478	0,03	68,210868	0,05	41,155714	0,1	20,823175	0,2	10,72732
0,03	101,951315								
0,04	101,87805	0,045	68,136619	0,075	41,080233	0,15	20,74546	0,3	10,64586
0,05	101,80504	0,06	68,062899	0,1	41,00556	0,2	20,669098	0,4	10,566974
0,06	101,73236	0,09	67,916485	0,15	40,858325	0,25	20,594148	0,5	10,489567
0,08	101,58746	0,12	67,771544	0,25	40,569374	0,3	20,520083	0,6	10,4145
0,1	101,44323	0,15	67,627636	0,275	40,498074	0,4	20,394689	0,8	10,2645
0,11	101,37147	0,165	67,555893	0,3	40,428855	0,5	20,231851	1	10,1265
0,12	101,29993	0,18	67,48468	0,35	40,28632	0,55	20,161468	1,1	10,05713
0,14	101,15727	0,21	67,342565	0,4	40,146687	0,6	20,09164	1,2	9,98873
0,15	101,08645	0,24	67,201548	0,5	39,870699	0,7	19,953212	1,4	9,8641
0,2	100,733	0,3	66,921346			0,8	19,81727	1,6	9,72285
						1	19,549675	2	9,4465

Valeurs de $\varphi' = \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{e^{-kn2t}}{1 - e^{-kn2t}}$									
t	$\varphi'$	t	$\varphi'$	t	$\varphi'$	t	$\varphi'$	t	$\varphi'$
0°	15,0703534	0°	10,290451	0°	6,479838	0°	3,646619	0°	2,2505396
0,01	14,854	0,015	10,0388	0,025	6,17668	0,05	3,2634	0,1	1,7776
0,02	14,76	0,03	9,939771	0,05	6,07328	0,1	3,1552	0,2	1,670834
0,04	14,6294	0,06	9,809356	0,1	5,9432	0,2	3,03134	0,4	1,574

L'emploi d'une table de ce genre permet de trouver  $U = T - \theta$  pendant la période d'admission, mais cela exige des calculs laborieux. C'est là, d'ailleurs, la seule solution complètement exacte du problème, mais nous allons voir qu'on peut obtenir une solution très approchée d'une façon beaucoup plus simple.

IX. — Les diagrammes des températures, tout comme ceux des pressions dont ils sont déduits, sont composés de quatre sections distinctes, à savoir (fig. 3) :

Section  $O\theta_a$ , phase d'admission ;  
 $\theta_a\theta_c$ , détente et émission anticipée ;  
 $\theta_c\theta_e$ , échappement ;  
 $\theta_e\theta_1$ , compression et admission anticipée.

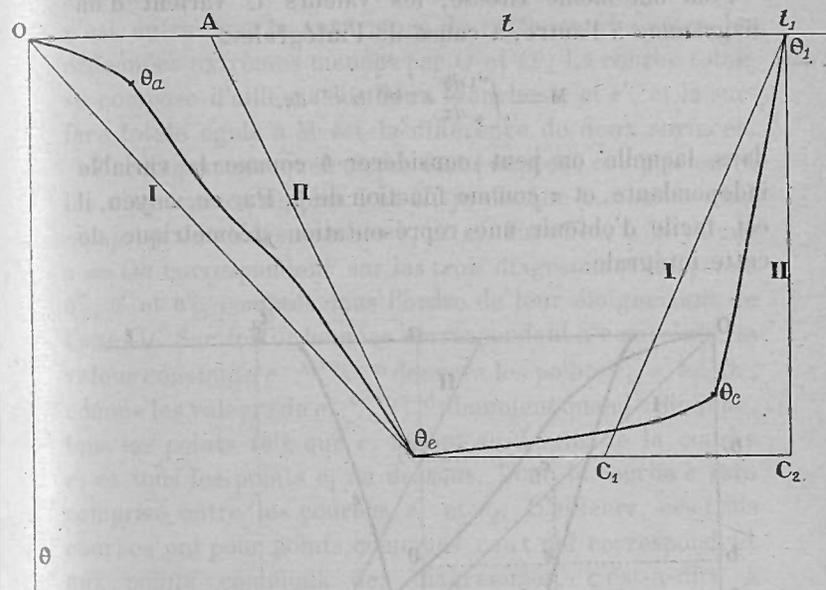


Fig. 3.

Dans certaines machines cette dernière section est très réduite ou même disparaît.

Ces diverses phases sont en relation entre elles par l'effet des mécanismes de distribution et comprises entre certaines limites. C'est ainsi que l'admission dépasse très rarement 50 p. 100, c'est-à-dire le quart de la durée d'un tour; il en est de même de la compression. Si donc, laissant fixe sur la fig. 3 le point  $\theta_e$  qui donne l'écart total des températures du fluide, nous traçons les diagrammes I et II formés chacun de quatre droites et tels que le diagramme I correspond à une très faible admission et à une

compression de 50 p. 100, tandis que le diagramme II correspond à une admission de 50 p. 100 et à une compression presque nulle, tous les diagrammes usuels possibles seront compris entre les diagrammes limites I et II.

Pour une même vitesse, les valeurs  $U$  varient d'un diagramme à l'autre, à cause de l'intégrale :

$$M = \int_0^{t_1} \frac{d\theta}{d\tau} e^{-kn^2(t_1-\tau)} d\tau,$$

dans laquelle on peut considérer  $\theta$  comme la variable indépendante, et  $\tau$  comme fonction de  $\theta$ . Par ce moyen, il est facile d'obtenir une représentation géométrique de cette intégrale.

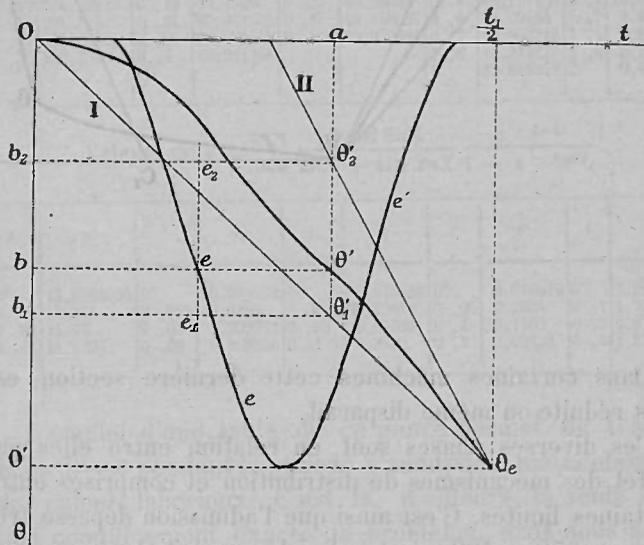


FIG. 4.

Considérons (*fig. 4*) l'axe  $O\theta$  comme axe des abscisses, et soit sur l'axe  $Ot$  un point  $a$  tel que  $Oa = \tau$ . En menant par  $a$  une parallèle à l'axe des abscisses jusqu'à la rencontre du diagramme, nous obtenons un point  $\theta'$  qui donne

la température correspondant au temps  $\tau$ . A partir du point  $b$ , pied de l'ordonnée  $b\theta'$ , portons sur cette ordonnée la valeur  $e^{-kn^2(t_1-\tau)}$ . On obtient ainsi un point  $e$ , et la courbe qui joint tous les points ainsi obtenus est la représentation de  $e^{-kn^2(t_1-\tau)}$  en fonction de  $\theta$ . L'intégrale définie n'est autre que la quadrature de cette courbe entre les ordonnées extrêmes menées par  $O$  et  $O'$ . La courbe totale se compose d'ailleurs des deux branches  $e$  et  $e'$ , et la surface totale égale à  $M$  est la différence de deux surfaces.

Un diagramme quelconque étant supposé compris entre les diagrammes simples I et II, je dis que la courbe  $e$  est comprise entre les courbes  $e_1$  et  $e_2$ . En effet, à la valeur  $\tau = Oa$  correspondent sur les trois diagrammes les points  $\theta'_1$ ,  $\theta'$  et  $\theta'_2$ , comptés dans l'ordre de leur éloignement de l'axe  $Ot$ . Sur les ordonnées correspondant à ces points, la valeur constante  $e^{-kn^2(t_1-\tau)}$  donnera les points  $e_1$ ,  $e$ ,  $e_2$ . Or, comme les valeurs de  $e^{-kn^2(t_1-\tau)}$  diminuent quand  $\tau$  diminue, tous les points tels que  $e_2$  seront au-dessus de la courbe  $e$ , et tous les points  $e_1$  au dessous. Donc la courbe  $e$  sera comprise entre les courbes  $e_1$  et  $e_2$ . D'ailleurs, ces trois courbes ont pour points communs ceux qui correspondent aux points communs des diagrammes, c'est-à-dire à  $\tau = 0$ ,  $\tau = \frac{t_1}{2}$ ,  $\tau = t_1$ .

Finalement, en appelant  $M_1$  et  $M_2$  les valeurs de l'intégrale se rapportant aux diagrammes I et II entre les limites  $O$  et  $\frac{t_1}{2}$ , on aura :

$$M_1 < M < M_2.$$

Entre les limites  $\frac{t_1}{2}$  et  $t_1$  on a la même inégalité. On ne doit pas, d'ailleurs, en inférer que cette inégalité subsiste pour l'ensemble du diagramme; cela a lieu, mais on ne peut pour le moment le reconnaître.

En tout cas, la conclusion à laquelle nous arrivons est importante parce que, comme nous allons le voir, les valeurs  $M_1$  et  $M_2$  sont sensiblement égales dans la première moitié du diagramme.

X. — Pour les diagrammes I et II, la quantité  $U$  se réduit à deux termes, et on a :

$$U = 0_c \left[ \frac{\varphi \left( t + t_1 - \frac{t_1}{2} \right) - \varphi(t + t_1 - t_a)}{\frac{t_1}{2}} - \frac{\varphi(t) - \varphi(t + t_c)}{t_c} \right]$$

ou : 
$$U = 0_c (\lambda - \lambda'),$$

en appelant  $t_a$  et  $t_c$  les durées de l'admission et de la compression.

Calculons les valeurs initiales de  $U$  ( $t = 0$ ), pour des admissions de zéro et de  $\frac{1}{5} t_1$ . On dresse ainsi le tableau suivant.

TABLEAU II.

Admission =	0	$\frac{1}{5} t_1$
	$\lambda_1$	$\lambda_2$
$t_1 = 0,2$	14,2047	14,2579
0,3	9,4172	9,4686
0,5	5,5894	5,6358
1	2,7287	2,7638
2	1,3454	1,36

Il résulte de ce tableau que le coefficient  $\lambda$  est sensiblement invariable, quelle que soit la forme de la première moitié du diagramme des températures et quelle que soit notamment la durée de l'admission. En prenant

dans tous les cas le coefficient moyen, on ne commet qu'une faible erreur sur  $U_0$  et  $U$ .

L'influence de la durée de la compression est, au contraire, importante, comme on le voit dans le tableau ci-après qui donne les valeurs de  $\lambda - \lambda'$  pour  $t = 0$  et des compressions variant de zéro à  $\frac{1}{5} t_1$  :

TABLEAU III.

Compression =	0		$\frac{1}{20} t_1$		$\frac{1}{10}$		$\frac{1}{5} t_1$	
	$\lambda_1 - \lambda'$	$\lambda_2 - \lambda'$						
$t_1 = 0,2$	0,86565	0,80887	0,7153	0,64852	0,6673	0,6006	0,5703	0,5036
0,3	0,87325	0,82185	0,7708	0,7194	0,6682	0,6168	0,5578	0,5064
0,5	0,8904	0,84	0,67988	0,63348	0,6032	0,55688	0,5102	0,4638
1	0,91792	0,8828	"	"	0,5548	0,52	0,50	0,465
2	0,90514	0,89054	0,5574	0,5428	0,4653	0,4507	0,3417	0,297

Les coefficients  $\lambda - \lambda'$  diminuent donc quand le rapport  $\frac{t_c}{t_1}$  de la durée de la compression à celle d'un tour augmente. Ils diminuent également avec la vitesse, sauf quand la compression est très faible.

Ils permettent de calculer immédiatement la valeur de l'écart des températures  $T - \theta$  au début de la course du piston. Soit en effet  $\theta_2$  la différence entre la température de la vapeur à l'échappement et la température à la fin de la compression;  $\mu = \lambda - \lambda'$  le coefficient qui se rapporte à la durée de cette compression;  $\theta_1$  la différence entre la température à la fin de la compression et la température d'admission;  $\mu_0$  le coefficient pour une compression nulle; on a :

$$U_0 = \mu \theta_2 + \mu_0 \theta_1.$$

Il faut maintenant étudier comment varie  $U$  pendant

l'admission, et à cet effet calculer les coefficients  $\lambda$  et  $\lambda'$  en donnant à  $t$  diverses valeurs. Le tableau IV donne les résultats de ce calcul. Les coefficients  $\lambda$  sont calculés par la formule :

$$\lambda = \frac{\varphi\left(t_a + \frac{t_1}{2}\right) - \varphi(t_1)}{\frac{t_1}{2} - t_a}$$

et les coefficients  $\lambda'$  par les formules :

$$\lambda' = \frac{\varphi(t_a) - \varphi(t_a + t_c)}{t_c},$$

quand la compression est  $t_c$ ; et :

$$\lambda' = \frac{\varphi(t_a) - \varphi(t_a + \Delta t_c)}{\Delta t_c}$$

quand la compression est infiniment petite.

TABLEAU IV.

Compression =	0			$\frac{1}{10} t_1$			$\frac{1}{5} t_1$		
	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$
$t_1 = 0,2$	$\lambda = 14,1882$ $\lambda' = 14,854$ $\mu = 0,6658$	$14,1733$ $14,76$ $0,5867$	$14,1424$ $14,6294$ $0,487$	$14,1882$ $14,7585$ $0,5703$	$14,1733$ $14,673$ $0,50$	$14,1424$ $14,569$ $0,4266$	$14,1882$ $14,693$ $0,505$	$14,1733$ $14,621$ $0,4477$	$14,1424$ $14,5297$ $0,3873$
$t_1 = 0,3$	$\lambda = 9,4008$ $\lambda' = 10,0388$ $\mu = 0,638$	$9,3888$ $9,93977$ $0,5509$	$9,3604$ $9,80935$ $0,44895$	$9,4008$ $9,94$ $0,5392$	$9,388$ $9,8646$ $0,4758$	$9,3604$ $9,761$ $0,4006$	$9,4008$ $9,89$ $0,4892$	$9,388$ $9,8128$ $0,424$	$9,3604$ $9,7118$ $0,3514$
$t_1 = 0,5$	$\lambda = 5,5766$ $\lambda' = 6,17668$ $\mu = 0,60008$	$5,56$ $6,07328$ $0,51328$	$5,542$ $5,9432$ $0,4012$	$5,5766$ $6,0773$ $0,5007$	$5,56$ $6,00624$ $0,44624$	$5,542$ $5,88936$ $0,347$	$5,5766$ $6,0246$ $0,448$	$5,56$ $5,94778$ $0,3878$	$5,542$ $5,85$ $0,308$
$t_1 = 1'$	$\lambda = 2,719$ $\lambda' = 3,2634$ $\mu = 0,5444$	$2,7098$ $3,1552$ $0,4454$	$2,6902$ $3,03134$ $0,34116$	$2,719$ $3,1576$ $0,4386$	$2,7098$ $3,08154$ $0,3717$	$2,6902$ $2,9802$ $0,29$	$2,719$ $3,092$ $0,373$	$2,7098$ $3,0309$ $0,3211$	$2,6902$ $2,8995$ $0,2555$
$t_1 = 2'$	$\lambda = 1,357$ $\lambda' = 1,7776$ $\mu = 0,4206$	$1,355$ $1,67083$ $0,3158$	$1,35$ $1,574$ $0,221$	$1,357$ $1,677$ $0,32$	$1,355$ $1,6035$ $0,248$	$1,35$ $1,5247$ $0,174$	$1,357$ $1,6184$ $0,2614$	$1,355$ $1,564$ $0,21$	$1,35$ $1,512$ $0,162$

A l'aide des coefficients du tableau précédent on peut construire par points la courbe représentant U. En faisant la quadrature de cette courbe jusqu'à la fin de l'admission, on a la quantité de chaleur  $Q_a$ , cédée par la vapeur aux parois-couvercle, de surface S, pendant cette phase. En effet, soit  $t_a$  la durée de l'admission ; on a :

$$\frac{Q_a}{hS} = \int_0^{t_a} u dt.$$

Or la valeur de U est :

$$U = \mu_0 \theta_2 + \mu_0 \theta_1.$$

La quantité de chaleur cédée est donc :

$$\frac{Q_a}{hS} = \theta_2 \int_0^{t_a} \mu dt + \theta_1 \int_0^{t_a} \mu_0 dt.$$

Posons :

$$m = \frac{1}{t_a} \int_0^{t_a} \mu dt,$$

$$m_0 = \frac{1}{t_a} \int_0^{t_a} \mu_0 dt.$$

Nous allons calculer, dans diverses conditions d'admission, de compression et de vitesse, les nouveaux coefficients  $m$  et  $m_0$ . Ils sont donnés dans le tableau suivant.

TABLEAU V.

Compression =	0			$\frac{1}{10} t_1$			$\frac{1}{5} t_1$		
	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$
$t_1 = 0,2$	0,759	0,6893	0,611	0,612	0,5704	0,5134	0,531	0,50	0,4556
0,3	0,749	0,6717	0,5808	0,5987	0,5506	0,4906	0,5185	0,4831	0,433
0,5	0,745	0,651	0,5541	0,552	0,50	0,448	0,479	0,449	0,398
1	0,73116	0,613	0,5031	0,4943	0,4497	0,3903	0,436	0,392	0,34
2	0,66	0,514	0,392	0,39	0,339	0,274	0,2807	0,2582	0,222

On voit, en définitive, que les échanges de chaleur, pendant l'admission, entre la vapeur et les parois-couvercle, sont représentés par la formule simple :

$$(1) \quad Q_a = hS (m\theta_2 + m_0\theta_1) t_a,$$

et sont, par suite, proportionnels aux écarts de température, pour une admission et une compression constantes.

XI. — Il est très important de savoir comment varient les coefficients  $m$  en fonction du pouvoir absorbant  $h$ . Les tableaux du paragraphe précédent ont été calculés en supposant  $h = 8,6$ . Nous donnons ci-après les tableaux analogues qu'on trouve en supposant le pouvoir absorbant moins grand et seulement égal à 6,8.

TABLEAU II bis.

Admission =	0	$\frac{1}{5} t_1$
$t_1 = 0^{\circ},2$	$\lambda_1$ 15,8824	$\lambda_2$ 15,956
0,3	10,52	10,555
0,5	6,25296	6,302
1	3,05904	3,1012
2	1,4728	1,502

TABLEAU III bis.

Compression =	0		$\frac{1}{20} t_1$		$\frac{1}{10} t_1$		$\frac{1}{5} t_1$	
	$\lambda_1 - \lambda'$	$\lambda_2 - \lambda'$						
$t_1 = 0^{\circ},2$	0,8557	0,782	0,75	0,68	0,65	0,58	0,57	0,50
0,3	0,87048	0,83548	0,77	0,73	0,67	0,63	0,57	0,53
0,5	0,877	0,8279	0,737	0,69	0,63	0,58	0,53	0,48
1	0,9034	0,8612	0,681	0,64	0,5778	0,5356	0,481	0,4388
2	0,92487	0,895	0,6124	0,583	0,524	0,4948	0,4234	0,394

TABLEAU IV bis.

Compression =	0			$\frac{1}{10} t_1$			$\frac{1}{5} t_1$		
	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$
$t_1 = 0^{\circ},2$	$\lambda$ 15,862	$\lambda$ 15,8426	$\lambda$ 15,80	$\lambda$ 15,862	$\lambda$ 15,8426	$\lambda$ 15,80	$\lambda$ 15,862	$\lambda$ 15,8426	$\lambda$ 15,80
	$\lambda'$ 16,56201	$\lambda'$ 16,46101	$\lambda'$ 16,328	$\lambda'$ 16,49	$\lambda'$ 16,3873	$\lambda'$ 16,2702	$\lambda'$ 16,40	$\lambda'$ 16,328	$\lambda'$ 16,244
	$\mu$ 0,70	$\mu$ 0,6184	$\mu$ 0,528	$\mu$ 0,628	$\mu$ 0,5447	$\mu$ 0,47	$\mu$ 0,538	$\mu$ 0,4854	$\mu$ 0,444
$t_1 = 0^{\circ},3$	$\lambda$ 10,485	$\lambda$ 10,472	$\lambda$ 10,46	$\lambda$ 10,485	$\lambda$ 10,472	$\lambda$ 10,46	$\lambda$ 10,485	$\lambda$ 10,472	$\lambda$ 10,46
	$\lambda'$ 11,175	$\lambda'$ 11,0743	$\lambda'$ 10,94177	$\lambda'$ 11,10	$\lambda'$ 11,006	$\lambda'$ 10,89	$\lambda'$ 11,03	$\lambda'$ 10,948	$\lambda'$ 10,86
	$\mu$ 0,69	$\mu$ 0,602	$\mu$ 0,4817	$\mu$ 0,615	$\mu$ 0,534	$\mu$ 0,43	$\mu$ 0,545	$\mu$ 0,476	$\mu$ 0,40
$t_1 = 0^{\circ},2$	$\lambda$ 6,24	$\lambda$ 6,2296	$\lambda$ 6,212	$\lambda$ 6,24	$\lambda$ 6,2296	$\lambda$ 6,212	$\lambda$ 6,24	$\lambda$ 6,2296	$\lambda$ 6,212
	$\lambda'$ 6,85	$\lambda'$ 6,7573	$\lambda'$ 6,62935	$\lambda'$ 6,79	$\lambda'$ 6,6912	$\lambda'$ 6,57	$\lambda'$ 6,68	$\lambda'$ 6,6132	$\lambda'$ 6,535
	$\mu$ 0,61	$\mu$ 0,5277	$\mu$ 0,4173	$\mu$ 0,55	$\mu$ 0,4616	$\mu$ 0,358	$\mu$ 0,44	$\mu$ 0,3836	$\mu$ 0,323
$t_1 = 1^{\circ}$	$\lambda$ 3,05	$\lambda$ 3,0367	$\lambda$ 3,013	$\lambda$ 3,05	$\lambda$ 3,0367	$\lambda$ 3,013	$\lambda$ 3,05	$\lambda$ 3,0367	$\lambda$ 3,013
	$\lambda'$ 3,61694	$\lambda'$ 3,5122	$\lambda'$ 3,3856	$\lambda'$ 3,54	$\lambda'$ 3,444	$\lambda'$ 3,3247	$\lambda'$ 3,44	$\lambda'$ 3,3844	$\lambda'$ 3,3004
	$\mu$ 0,5669	$\mu$ 0,4755	$\mu$ 0,3726	$\mu$ 0,49	$\mu$ 0,4073	$\mu$ 0,3117	$\mu$ 0,39	$\mu$ 0,3477	$\mu$ 0,2874
$t_1 = 2^{\circ}$	$\lambda$ 1,464	$\lambda$ 1,4552	$\lambda$ 1,439	$\lambda$ 1,464	$\lambda$ 1,4552	$\lambda$ 1,439	$\lambda$ 1,464	$\lambda$ 1,4552	$\lambda$ 1,439
	$\lambda'$ 1,9682	$\lambda'$ 1,861	$\lambda'$ 1,742	$\lambda'$ 1,85	$\lambda'$ 1,75	$\lambda'$ 1,66	$\lambda'$ 1,78	$\lambda'$ 1,70	$\lambda'$ 1,62
	$\mu$ 0,504	$\mu$ 0,406	$\mu$ 0,303	$\mu$ 0,39	$\mu$ 0,295	$\mu$ 0,22	$\mu$ 0,316	$\mu$ 0,245	$\mu$ 0,18

TABLEAU V bis.

Compression =	0			$\frac{1}{10} t_1$			$\frac{1}{5} t_1$		
	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$
$t_1 = 0^{\circ},2$	0,775	0,7096	0,6366	0,639	0,6077	0,5525	0,549	0,5253	0,49
0,3	0,775	0,708	0,6224	0,637	0,601	0,539	0,5525	0,523	0,481
0,5	0,735	0,647	0,557	0,585	0,5429	0,475	0,48	0,4434	0,397
1	0,728	0,62	0,519	0,53	0,487	0,4195	0,43	0,397	0,354
2	0,712	0,581	0,465	0,45	0,395	0,322	0,368	0,319	0,26

De la comparaison des tableaux V et V bis il ressort que les coefficients  $m$  diminuent lorsque  $h$  diminue, mais la variation est peu importante et ne dépasse pas  $\frac{1}{10} m$ . Donc, en appliquant la formule (1) du § X, on ne commettra qu'une faible erreur, si on suppose  $m$  et  $m_0$  indépendants

de  $h$ , à la condition qu'on sache, d'autre part, que  $h$  ne s'éloigne pas sensiblement des limites ci-dessus indiquées.

XII. — On peut exprimer les coefficients  $m$  par une formule empirique, déduite du tableau V, laquelle rend compte de la façon dont ils varient en fonction de l'admission  $t_a$ , de la compression  $t_c$  et de la vitesse  $t_1$ .

Par exemple, pour la vitesse :  $t_1 = 0'',2$ , la formule :

$$m = 0,475 \left(\frac{t_a}{t_1}\right)^{-0,16} e^{-1,53 \frac{t_c}{t_1}}$$

donne des valeurs suffisamment approchées, comme on peut le reconnaître dans le tableau suivant.

TABLEAU VI.

Compression =	0			$\frac{1}{10} t_1$			$\frac{1}{5} t_1$		
	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$
Admission =									
Coefficient $m$ du tableau V pour $t_1=0'',2$ .	0,759	0,6893	0,611	0,612	0,5704	0,5134	0,531	0,50	0,4556
Coefficients $m$ donnés par la formule empirique .....	0,7671	0,6866	0,6145	0,6583	0,5892	0,5273	0,5649	0,5056	0,4525

Maintenant, si on construit les courbes représentant  $m$  en prenant le temps  $t_1$  pour abscisses et pour des valeurs constantes de  $\frac{t_c}{t_1}$  et de  $\frac{t_a}{t_1}$ , ces courbes sont très sensiblement des droites parallèles. La formule donnant  $m$  pour une vitesse quelconque est donc linéaire en  $t_1$ . On peut prendre l'expression suivante :

$$m = 0,475 \left(\frac{t_a}{t_1}\right)^{-0,16} e^{-1,53 \frac{t_c}{t_1}} - \frac{1}{8} (t_1 - 0'',2),$$

et les valeurs de  $m$ , calculées d'après cette formule, fournissent le tableau ci-après.

TABLEAU V ter.

Compression =	0			$\frac{1}{10} t_1$			$\frac{1}{5} t_1$		
	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$	$\frac{1}{20} t_1$	$\frac{1}{10} t_1$	$\frac{1}{5} t_1$
Admission =									
$t_1 = 0'',2$	0,7671	0,6866	0,6145	0,6583	0,5892	0,5273	0,5649	0,5056	0,4525
0,3	0,7546	0,6741	0,602	0,6458	0,5767	0,5148	0,5524	0,4931	0,44
0,5	0,7296	0,6491	0,5770	0,6268	0,5517	0,4898	0,5274	0,4681	0,415
1	0,6671	0,5866	0,5145	0,5583	0,4892	0,4273	0,4649	0,4056	0,3525
2	0,5421	0,4616	0,389	0,4333	0,3642	0,3023	0,3399	0,2806	0,227

Sauf les deux valeurs soulignées, pour  $t_1 = 2''$  (vitesse peu usuelle), les quantités du tableau V ter sont suffisamment approchées de celles du tableau V; elles sont généralement un peu plus grandes, et cela arrive fort à propos, car, le coefficient  $h$  variant, comme nous le verrons plus loin, entre 7 et 9, les coefficients  $m$  sont, en réalité, compris entre ceux portés aux tableaux V et V bis.

En posant :

$$\frac{t_a}{t_1} = x, \quad \frac{t_c}{t_1} = y,$$

la formule de l'échange de chaleur (1), du § X, devient :

$$(2) \quad Q_a = h S a t_1 \left[ 0,475 x^{-0,16} (0,2 e^{-1,53 y} + 0,1) - \frac{1}{8} (t_1 - 0,2)(0,1 + \theta_2) \right]$$

XIII. — Le second terme de T —  $\theta$  (§ VIII) est :

$$W = - \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \int_0^t d\theta e^{-kn^2(t-\tau)}$$

Quand la température reste constante pendant l'admission,  $W = 0$ . Ce cas se trouve réalisé, à peu de chose

près, dans les machines à faible vitesse où les lumières restent ouvertes en grand pendant l'admission et se ferment très rapidement à la fin. Mais, dans un grand nombre de machines, il en est autrement. Il se produit un laminage de vapeur qui abaisse notablement la pression dans le cylindre.

Il s'agit de savoir ce que donne alors le terme W.

En thèse générale, on peut admettre qu'à partir de l'origine de la course la température reste constante pendant une fraction de l'admission, puis s'abaisse jusqu'à la température  $\theta_a$  de la fin de l'admission, en suivant approximativement une ligne droite. Lorsque le laminage est important, la température de la vapeur suit à peu près la ligne droite partant de l'origine et aboutissant à  $\theta_a$ . Cherchons W dans ce dernier cas. On a, en effectuant l'intégration :

$$W = \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{\theta_a}{t_a} \frac{1 - e^{-kn^2 t}}{kn^2}$$

La quantité de chaleur échangée afférente au terme W est :

$$\frac{Q_a}{hS} = \int_0^{t_a} W dt = \theta_a \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{kn^2} - \theta_a \sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{1}{k^2 n^4} \frac{1 - e^{-kn^2 t_a}}{t_a}$$

Elle ne dépend donc que de la température fin admission et de la durée de l'admission.

Le premier terme du second membre de la formule ci-dessus est égal à  $3,2152 \theta_a$ . Le calcul du coefficient  $\rho$  du second terme s'effectue au moyen d'une table des valeurs de :

$$\sum \frac{2 \sin 2nX}{2nX + \sin 2nX} \frac{e^{-kn^2 t}}{k^2 n^4}$$

On dresse ainsi le tableau suivant :

TABLEAU VII.

$t_a =$	0	0",02	0",04	0",06	0",1	0",2	0",5
$\rho =$	3,2152	3,175	3,168	3,163	3,157	3,147	3,075

On peut admettre que  $\rho$  varie linéairement et poser :

$$\rho = 3,2152 - 0,33t_a$$

La formule donnant  $Q'_a$  devient alors :

$$\frac{Q_a}{hS} = 0,33\theta_a t_a$$

Cette quantité de chaleur est ordinairement négligeable. Mais, si on la néglige, il est préférable de prendre dans la formule (1) du § X, comme température d'admission, la température moyenne pendant cette phase.

XIV. — *Échanges de chaleur avec les parois cylindriques.* — Nous admettrons que, dans une couronne cylindrique  $a$ , de hauteur infiniment petite, la loi de la propagation de la chaleur est la même que dans une paroi plane. Ceci n'est qu'approximatif, surtout parce qu'on ne tient pas compte de la propagation de la chaleur suivant les génératrices du cylindre. La température moyenne de la paroi cylindrique est plus élevée aux deux bouts du cylindre qu'au milieu, mais il résulte des expériences de M. Bryan Donkin que ses variations sont faibles. On négligera donc leur influence.

Nous allons chercher quelle est la loi de propagation de la chaleur dans une couronne cylindrique infiniment petite, en opérant comme s'il s'agissait d'une paroi plane

indéfinie. Il faut d'abord connaître la température de la source.

Considérons le diagramme des températures de la vapeur en prenant pour origine le point mort. La couronne cylindrique  $a$  se trouve, au début, de l'autre côté du piston, ou bien est recouverte par lui; elle sera découverte au bout d'un temps  $t$ , qui correspond à une température  $\theta_t$  du diagramme. A partir d'alors, la température de la source qui agit sur la couronne  $a$  est donnée par la partie

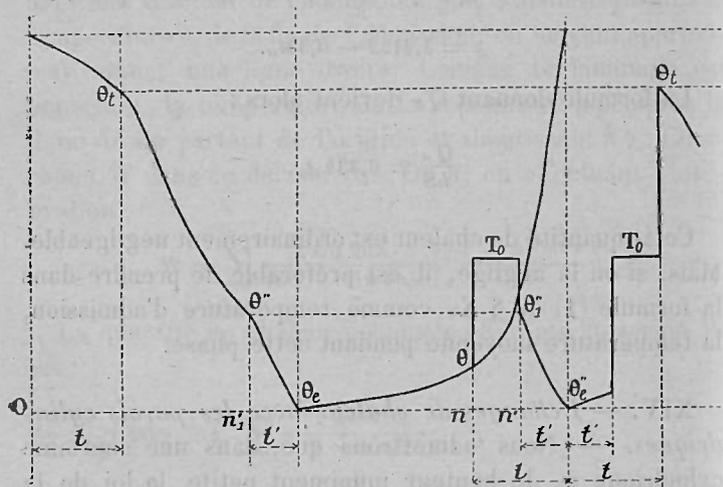


Fig. 5.

du diagramme qui commence au point  $\theta_t$  (fig. 5). Cela a lieu jusqu'à ce que le piston, ayant effectué sa course d'aller et une partie de sa course de retour, revienne à hauteur de la couronne  $a$ . Le temps écoulé sera  $t_1 - t$ , ce qui donne le point  $n$  de l'axe des abscisses et correspond à une température  $\theta'$  du diagramme. A partir de ce moment, ce n'est plus la vapeur qui chauffe la couronne  $a$ , mais le piston. La température de la source est donc discontinue; elle passe brusquement de  $\theta'$  à la tempé-

ture de la couche superficielle du piston, puis devient égale à la température moyenne  $T_0$  du piston. Quand celui-ci a dépassé la couronne  $a$ , pour le temps  $t_1 - t'$ , elle est baignée par la vapeur de la cylindrée opposée dont on trouve la température en reportant l'abscisse  $t'$  en avant du point  $t_1$ ; cela donne le point  $n'_1$  et la température  $\theta'' = \theta''_1$ . Donc, à partir du temps  $t_1 - t'$ , la température est donnée par la partie du diagramme qui commence à  $\theta''$ . Pour le temps  $t_1 + t'$ , le piston, dans sa nouvelle course d'aller, vient couvrir de nouveau la couronne  $a$ , et la source de chaleur est encore le piston lui-même jusqu'au moment  $t_1 + t$ . Ainsi la courbe des températures est la ligne  $\theta_t, \theta''_1, T_0, \theta'_1, \theta'_e, T_0, \theta_t$ . Dans ce diagramme l'écart entre les températures extrêmes est  $\theta_e - \theta_t$ .

Cherchons la quantité de chaleur transmise à la couronne  $a$  pendant la phase d'admission.

La différence entre la température  $\theta$  de la source et la température  $T$  à la surface de la couronne est, en négligeant le terme  $W$  :

$$T - \theta = U.$$

Si le diagramme  $\theta$  n'avait pas de compression et si le piston pouvait être supposé sans épaisseur, on aurait, comme on l'a vu au § X :

$$U = \mu_0 (\theta_t - \theta_e),$$

et  $\mu_0$  varierait comme l'indiquent les nombres des trois premières colonnes du tableau IV.

L'existence d'une compression ne se fait pas sentir sur la paroi cylindrique, car, à cause de l'épaisseur du piston, pendant cette phase, la paroi est recouverte par le piston, qui constitue la source de chaleur à la place de la vapeur. Ce n'est pas d'ailleurs une source de chaleur

équivalente; le piston échange moins de calorique avec la paroi.

D'après cela, et eu égard aux chiffres des tableaux III et IV, nous proposons de prendre pour  $\mu_0$  la valeur linéaire suivante :

$$\mu_0 = 0,60 - 1,2 \frac{t_a - t}{t_1}.$$

L'erreur commise en prenant cette formule est inférieure à  $\frac{1}{10}$ , lorsque la vitesse est égale ou supérieure à 2 tours par seconde,  $t_1 \leq 0^{\circ},5$ . Quand l'admission n'excède pas  $\frac{1}{5} t_1$ , on peut se contenter de prendre pour  $\mu_0$  la valeur constante 0,50. Enfin, pour des vitesses de 1 tour par seconde, on aurait approximativement :

$$\mu_0 = 0,50 - 1,2 \frac{t_a - t}{t_1}$$

ou, pour des admissions inférieures à  $\frac{1}{5} t_1$  :

$$\mu_0 = 0,40.$$

Il résulte de la formule simple exprimant  $\mu_0$  que la quantité de chaleur  $dQ$ , cédée à la couronne cylindrique de surface  $dS$ , du temps  $t$  au temps  $t_a$ , est :

$$\frac{dQ}{h} = dS \int_t^{t_a} dt = dS (0_t - 0_e) \left( 0,6 - 1,2 \frac{t_a - t}{2t_1} \right) (t_a - t);$$

or :

$$dS = \pi D dl = \frac{2\pi}{t_1} \frac{\pi CD}{2} \sin 2\pi \frac{t}{t_1} dt,$$

en appelant C la course du piston, et D le diamètre.

Il vient alors :

$$\frac{dQ}{h} = \frac{2\pi}{t_1} \frac{\pi CD}{2} (0_t - 0_e) \left( 0,6 - 1,2 \frac{t_a - t}{2t_1} \right) (t_a - t) \sin 2\pi \frac{t}{t_1} dt.$$

Il faut intégrer  $dQ$  de 0 à  $t_a$ , pour avoir la chaleur totale échangée avec la paroi cylindrique pendant l'admission. A cet effet, il faut connaître  $\theta_t$  en fonction de  $t$ . Ordinairement  $\theta_t$  diffère très peu de la température initiale  $\theta_0$ . Quand il y a un fort laminage de la vapeur,  $\theta_t$  diminue linéairement de  $\theta_0$  à  $\theta_a$ , et on peut alors poser :

$$\theta_t = (\theta_0 - \theta_a) \frac{t}{t_a}.$$

En effectuant l'intégration pour  $\theta_t = \theta_0$ , on trouve :

$$\frac{Q_c}{h} = \frac{\pi CD}{2} (\theta_0 - \theta_e) \left\{ 0,6 \left( t_a - \frac{t_1}{2\pi} \sin 2\pi \frac{t_a}{t_1} \right) - \frac{1,2}{2t_1} \left[ t_a^2 - 2 \left( \frac{t_1}{2\pi} \right)^2 \left( 1 - \cos 2\pi \frac{t_a}{t_1} \right) \right] \right\}$$

Le second terme de cette expression est petit par rapport au premier, et on peut le négliger à la condition de prendre le coefficient 0,50 au lieu de 0,60. On a alors, en remarquant que  $\theta_0 - \theta_e$  n'est autre que la quantité appelée  $\theta_1 + \theta_2$  au § X :

$$(3) \quad Q_c = h \frac{\pi CD}{2} (\theta_1 + \theta_2) 0,50 \left( t_a - \frac{t_1}{2\pi} \sin 2\pi \frac{t_a}{t_1} \right).$$

La quantité totale de chaleur cédée par la vapeur aux parois pendant l'admission est  $Q_a + Q_c$ , et les formules (1) et (3) résolvent complètement le problème.

### CHAPITRE III.

#### Pouvoir absorbant des parois des cylindres.

XV. — La solution du problème des échanges de chaleur entre la vapeur et les parois des cylindres comporte deux points principaux :

1° La recherche des intégrales des équations différentielles de la chaleur, question purement mathématique qui a été résolue dans ce qui précède ;

2° L'étude du coefficient de conductibilité extérieure ou du pouvoir absorbant des parois, que nous avons appelé  $h$ .

Cette dernière étude, qui ne peut être basée que sur l'expérimentation, est la plus difficile. Elle peut s'appuyer, heureusement, sur des éléments d'investigation très riches et très variés, provenant des applications qui ont été faites de la théorie expérimentale de la machine à vapeur de Hirn, par Hirn lui-même et par les savants de son école.

Il est clair que la théorie mathématique des échanges de chaleur ne serait qu'une inutile spéculation, si le coefficient  $h$  ne pouvait pas être déterminé. Il n'est pas nécessaire que ce coefficient soit constant, mais il faut qu'il soit soumis à des lois fixes. Tel ne serait peut-être pas le cas, si la théorie que Zeuner a opposée à celle de Hirn était exacte, c'est-à-dire si la chaleur perdue par la vapeur était absorbée, non par le métal des parois, mais par une masse d'eau stagnante dans le cylindre.

Nous avons calculé les échanges de chaleur en appliquant la formule :

$$Q = \int h (T - \theta) dt,$$

et nous avons admis qu'on pouvait poser :

$$\int h (T - \theta) dt = h \int (T - \theta) dt.$$

Cela implique que  $h$  soit indépendant des variables  $T - \theta$  et  $t$ . D'après la loi de Newton, le pouvoir absorbant ne serait indépendant des écarts de température que lorsque ceux-ci n'excèdent pas 20°. Cette condition n'est pas absolument réalisée par les parois des cylindres en

contact avec la vapeur ; mais le calcul de  $T - \theta$ , tel qu'il est indiqué au § X, montre que l'écart des températures ne dépasse 20° que pendant des durées assez petites par rapport à la durée totale de l'échange.

Il faudrait, en outre, savoir si  $h$  est indépendant du temps, c'est-à-dire si, pour une paroi et une vapeur données,  $h$  reste toujours le même, par exemple pendant toute la durée de l'admission. Il est peu probable que l'état de la surface de la paroi pendant cette durée ne soit pas modifié, en raison des condensations qui se produisent. Si la paroi est sèche au début, il s'y dépose bientôt soit une pellicule liquide, soit des gouttelettes, ce qui est parfaitement de nature à modifier le pouvoir absorbant. On ne peut donc affirmer *a priori* qu'il reste constant du commencement à la fin de l'admission. Mais conserve-t-il des valeurs moyennes comparables ? C'est là une des questions principales à résoudre.

Le coefficient  $h$  peut, en outre, ne pas être le même pour les parois convere et cylindrique. La première n'est pas polie, l'autre l'est par le frottement continu du piston ; elles ne sont pas également graissées : toutes choses qui peuvent faire varier  $h$ .

La vitesse et l'état de la vapeur peuvent aussi influencer sur  $h$ . Avec de la vapeur surchauffée, le pouvoir absorbant diffère notablement de ce qu'il est avec de la vapeur saturée. Même dans ce dernier cas, il est à présumer que  $h$  augmente avec le degré d'humidité de la vapeur.

Enfin, il faut savoir si  $h$  acquiert les mêmes valeurs moyennes dans toutes les catégories de machines, car ce n'est qu'à cette condition que la théorie mathématique peut être générale et, par suite, avoir de l'utilité.

Je vais donc chercher la valeur de  $h$  en partant des essais de machines à vapeur basés sur la théorie expérimentale de Hirn et en leur appliquant les formules données aux §§ X et XIV. Je me suis proposé de faire cette

application à tous les essais dont les résultats ont été publiés. Malheureusement, les indications données par les divers auteurs sont souvent incomplètes et notamment ne contiennent généralement pas la valeur exacte de la surface  $S$  influencée par la vapeur au début de l'admission.

En outre, les formules données plus haut ne doivent être appliquées qu'aux machines sans enveloppe de vapeur et sans surchauffe, ce qui élimine un grand nombre d'essais très complets et très précis, dont on ne pourra utiliser les résultats que quand la théorie actuelle aura été complétée.

XVI. — Pour donner un exemple de la façon dont on peut calculer  $h$ , prenons l'expérience de Hirn, du 8 septembre 1875, sur la machine du *Logelbach*, dont les dimensions sont : Diamètre,  $D = 0^m,605$  ; course du piston,  $C = 1^m,702$  ; surface des parois-couvercle en contact avec la vapeur au début de l'admission,  $S = 0^m^2,608$ .

Les conditions de l'essai étaient les suivantes :

Durée d'un tour :  $t_1 = 1^s,973$ .

Admission : 0,1542 du volume ; d'où :  $t_a = 0^s,2525$ .

Compression : 0,0824 du volume et, par suite, très voisine de  $\frac{1}{10} t_1$ .

Température moyenne pendant l'admission :

$$t_0 = \frac{148^{\circ},8 + 140^{\circ},3}{2} = 145^{\circ},6.$$

Température de la vapeur à l'échappement :  $\theta_2 = 61^{\circ},1$ .

Température de la vapeur à la fin de la compression :  $\theta_1 = 86^{\circ},6$ .

Quantité de chaleur cédée aux parois pendant l'admission : 49,9 Calories.

Il faut appliquer la formule :

$$\frac{Q_a + Q_c}{h} = S[m(\theta_1 - \theta_2) + m_0(\theta_0 - \theta_1)]t_a + \frac{\pi CD}{2}(\theta_0 - \theta_2)0,40\left(t_a - \frac{t_1}{2\pi} \sin 2\pi \frac{t_a}{t_1}\right).$$

D'après le tableau V, pour les valeurs ci-dessus de  $t_1$ ,

$\frac{t_a}{t_1}$  et  $\frac{t_c}{t_1}$ , on a :

$$m_0 = 0,47,$$

$$m = 0,32;$$

d'où :

$$\frac{Q_a}{h} = 5,5098,$$

$$\frac{Q_c}{h} = 1,5593,$$

et :

$$Q_a + Q_c = h \cdot 7,0691 = 49^{\text{Cal}},9.$$

On en déduit :

$$h = 7,0589.$$

D'après les unités choisies, ce coefficient  $h$  représente le nombre de Calories qui traverse 1 mètre carré de surface de la paroi intérieure pour une différence de température de  $1^{\circ}$  et pendant une seconde.

XVII. — Une série d'essais très divers ont été effectués, en 1888, par M. Willans sur sa machine à vapeur dite *Central valve Engine* (Mémoire présenté, le 13 mai 1888, à l'Institut des Ingénieurs civils de Londres. Voir aussi : *Revue universelle de Liège*, tome V, 1889).

Cette machine est à *triple expansion* ; les essais ont porté principalement sur le plus grand cylindre fonctionnant tantôt seul, comme une machine simple, tantôt en compound. Les dimensions de ce cylindre sont :  $D = 0^m,3556$ ,  $C = 0^m,1524$ . La surface en contact avec la vapeur au début de la course est :  $S = 0^m^2,25733$ .

Dans les deux tableaux suivants, la partie supérieure (six premières lignes) résume celles des données, qui nous sont utiles ici, des expériences de Willans, et la partie inférieure les éléments du calcul de  $h$ , effectué comme il est dit au paragraphe ci-dessus.

TABLEAU VIII.

	1	2	3	4	5	6	7
Fraction de la course après laquelle l'admission cesse.....	0,604	0,437	0,339	0,296	0,264	0,2375	0,216
Nombre de tours par minute.....	393,5	408,4	409,1	403,17	400,9	397,7	406,16
Nombre de Calories perdues pendant l'admission.....	0,823788	1,30183	2,05833	1,776	1,98147	2,5857	2,3778
Température moyenne pendant l'admission.....	131°,4	138°,7	149°,7	154°,8	161°,5	163°,4	166°,7
Température fin compression.....	131°	125°	137°	120°	133°	137°	140°
Température pendant l'émission.....	100°	100	102°,2	102°,2	102°,7	102°,2	101°,6
$t_1$	0°,15248	0°,147	0°,1467	0°,1488	0°,1497	0°,15087	0°,1477
$t_a$	0°,0431518	0°,03381	0°,02802	0°,02723	0°,025748	0°,02444	0°,0227458
$\frac{t_a}{t_1}$	0,283	0,23	0,1972	0,183	0,172	0,162	0,151
$m_0$	0,595	0,5	0,61	0,623	0,635	0,64	0,645
$m$	0,48	0,5	0,52	0,53	0,54	0,54	0,545
$\frac{Q_a}{h}$	0,165	0,17965	0,1923	0,21798	0,23662	0,22445	0,2333
$\frac{Q_c}{h}$	0,0248	0,01732	0,01382	0,01333	0,01134	0,01213	0,01013
$\frac{Q_a + Q_c}{h}$	0,1898	0,19697	0,20612	0,23131	0,23796	0,23658	0,23343
$\frac{Q}{h}$	1,3403	6,60991	9,98	7,59	8,3928	10,93	10,19

TABLEAU IX.

	8	9	10	11	12	13	14	15
Fraction de la course après laquelle l'admission cesse.....	0,437	0,437	0,339	0,339	0,264	0,264	0,216	0,216
Nombre de tours par minute.....	200,6	110,5	205,2	112,7	223	122,8	223,7	138
Nombre de Calories perdues pendant l'admission.....	1,799	3,01644	3,09	5,0057	1,906	4,4158	3,613	4,9077
Température moyenne pendant l'admission.....	137°,75	137°,2	150°,4	149°,9	159°,4	139°,4	167°,2	167°,2
Température fin émission.....	119°,4	117°,2	136°,6	137°,8	128°,9	128°,3	133°,3	135°
Température pendant l'émission.....	100°,55	100°	100°,55	100°	101°,1	101°,1	101°,1	101°,1
$t_1$	0°,3	0°,543	0°,2927	0°,532	0°,269	0°,4886	0°,269	0°,4338
$t_a$	0°,069	0°,1249	0°,05772	0°,10491	0°,046268	0°,084039	0°,011426	0°,06896
$\frac{t_a}{t_1}$	0,23	0,23	0,1972	0,1972	0,172	0,172	0,154	0,154
$m_0$	0,56	0,53	0,585	0,56	0,61	0,56	0,63	0,605
$m$	0,48	0,435	0,485	0,45	0,51	0,465	0,53	0,485
$\frac{Q_a}{h}$	0,3437	0,5785	0,38098	0,64063	0,3903	0,6636	0,41005	0,6198
$\frac{Q_c}{h}$	0,0322	0,0591	0,0273	0,05034	0,02024	0,03679	0,016677	0,026956
$\frac{Q_a + Q_c}{h}$	0,3759	0,6376	0,40828	0,69097	0,41054	0,70039	0,426727	0,64675
$\frac{Q}{h}$	4,786	4,731	7,569	7,245	4,648	6,205	8,4667	7,5883

Les valeurs trouvées pour  $h$  paraissent assez dissemblables; mais il ne faut pas oublier que les nombres trouvés par M. Willans pour les pressions, les températures et les calories perdues sont déduits de diagrammes d'indicateur, peu précis quand les vitesses sont aussi élevées (400 tours par minute). Les observations ci-dessus sont donc affectées d'un certain degré d'erreur qui peut expliquer la divergence des coefficients  $h$ . Quelques-unes de ces observations paraissent même entachées d'erreurs systématiques; ce sont celles où on trouve pour  $h$  des valeurs comprises entre 4 et 5. Si on compare, par exemple, les essais 8 et 10, effectués à même vitesse, où l'admission est notablement plus élevée dans le premier que dans le second, on voit que dans l'essai 8 la quantité de chaleur cédée aux parois est près de moitié moins grande que dans l'essai 10, et cependant l'écart des températures n'est augmenté de l'un à l'autre que de 13° passant de 37 à 50°. Quelle que soit l'hypothèse faite sur l'origine des condensations, action exclusive des parois métalliques, action d'une masse d'eau stagnante jouant l'office de condenseur, ou action combinée de ces deux causes, il nous paraît impossible d'expliquer de pareilles anomalies; elles doivent provenir d'erreurs d'observation.

Nous pensons donc qu'il convient d'écarter les essais 1, 8, 9 et 12, comme entachés d'erreurs systématiques.

Si on prend la moyenne des valeurs de  $h$  trouvées dans les onze autres essais, on trouve :

$$h = 8,26.$$

Pour les quinze essais, sans élimination d'aucun d'eux, la valeur moyenne  $h$  est de 7,291.

Dans son mémoire à la Société des Ingénieurs civils de Londres, M. Willans, remarquant le peu d'influence que paraissent avoir sur la quantité de chaleur perdue les

variations de l'étendue des surfaces, en concluait que, en  $\frac{1}{30}$  de seconde, durée approximative de l'admission quand la vitesse est de 400 tours par minute, la surface métallique n'a pas le temps d'absorber la chaleur et qu'alors la présence dans le cylindre d'une quantité comparativement constante d'eau est le facteur principal des pertes de chaleur.

Le peu d'influence des variations de l'étendue des surfaces n'est pas pour surprendre. Comme on le voit sur les tableaux VIII et IX, le terme  $\frac{Q_c}{h}$  ( $Q_c$  est la chaleur absorbée par la surface cylindrique) est très petit comparativement à  $\frac{Q_a}{h}$ , environ le dixième de  $\frac{Q_a}{h}$ , et pourrait être négligé sans grande erreur. Cela tient à ce que  $\frac{\pi CD}{2} = 0^m2,085115$ , valeur faible par rapport à  $S = 0^m2,25733$ , et à ce que l'action condensante de la surface cylindrique, qui n'est découverte que peu à peu par le piston, est moindre que celle de la surface-couvercle. La théorie nous montre donc que, dans la machine de M. Willans, la surface-condensante peut être considérée comme réduite à la surface couvercle, toujours constante, et que, par suite, la variation de l'étendue des surfaces n'a qu'une influence négligeable sur les pertes de chaleur.

Maintenant est-il admissible que la surface métallique puisse absorber les quantités de chaleur trouvées en un temps aussi court que  $\frac{1}{30}$  de seconde? N'est-il pas nécessaire pour cela que le pouvoir absorbant,  $h$ , ait une valeur excessive? Il n'en est rien, comme on le voit sur les tableaux VIII et IX, et il est même assez curieux de remarquer que, dans un certain nombre des essais de

M. Willans, le coefficient  $h$  est notablement plus petit que dans l'expérience de Hirn, effectuée sur une machine des plus lentes. L'action exclusive des parois métalliques suffit donc parfaitement à expliquer les pertes de chaleur trouvées par M. Willans.

XVIII. — M. Dwelshauvers-Déry a fait récemment une série d'expériences très intéressantes sur la machine du laboratoire de l'École de Liège (*Revue universelle de Liège*, novembre 1896). Nous ne retiendrons pour le moment que les deux essais effectués avec de la vapeur saturée, sans vapeur dans les enveloppes.

Les dimensions de la machine sont les suivantes:  $D = 0^m,30$ ;  $C = 0^m,60$ . D'après cela, la surface en contact avec la vapeur au début de la course serait de :

$2\pi \frac{D^2}{4} = 0^m2,1414$ , si elle était réduite au fond du cylindre et à la surface du piston. La surface influencée par la vapeur est toujours un peu plus grande que  $2\pi \frac{D^2}{4}$ , et on

peut admettre qu'on a:  $S = \left(1 + \frac{1}{10}\right) 2\pi \frac{D^2}{4} = 0^m2,15554$ .

On a d'ailleurs  $\frac{\pi CD}{2} = 0^m2,28274$ . L'admission et la compression sont de  $\frac{1}{10}$  de la course. Le tableau suivant

résume les données des expériences et les résultats du calcul de  $h$ .

TABLEAU X.

	1	2
Titre de la vapeur, à l'admission.....	0,9464	0,9807
Température de la vapeur à l'admission.....	151°,3	151°,8
— — à l'échappement.....	53°	50°,5
— — fin compression.....	90°	83°
$t_1$	1°,5946	1°,3526
$t_a$	0°,16511	0°,14013
$\frac{t_1}{t_a}$	0,1036	0,1036
Quantité de chaleur perdue pendant l'admission, par coup.....	13 <sup>ca</sup> 1,1398	9 <sup>ca</sup> 1,4332
$m_a$	0,55	0,575
$m$	0,39	0,415
$\frac{Q_a}{h}$	1,2364	1,1562
$\frac{Q_c}{h}$	0,15742	0,13851
$\frac{Q_a + Q_c}{h}$	1,39382	1,29471
$\frac{h}{h}$	9,4055	7,286

Dans l'essai 2, où la vapeur est à peu près sèche, on trouve la même valeur de  $h$  que dans l'expérience de Hirn. Dans l'expérience 1 nous trouvons une valeur de  $h$  plus grande, ce qui prouve que le titre de la vapeur a une influence très accusée sur le pouvoir absorbant. Quand la vapeur est surchauffée, le pouvoir absorbant est relativement faible; il augmente quand on passe de la vapeur surchauffée à la vapeur saturée sèche, et il doit évidemment augmenter encore quand la proportion d'humidité s'accroît. C'est là, croyons-nous, la cause qui influe le plus sur la valeur de  $h$ . D'ailleurs, la variation de ce coefficient, en fonction de l'humidité de la vapeur, ne peut être considérée comme évaluée d'une manière définitive par les deux seules expériences de M. Dwelshauvers-Déry.

En admettant que  $h$  varie proportionnellement au degré d'humidité  $\gamma$ , contenue dans la vapeur, on aurait,  $\gamma$  étant

évalué en centièmes :

$$h = 6,0933 + 61,8\gamma.$$

En attendant que de nouvelles expériences viennent élucider les diverses questions que soulève la détermination du pouvoir absorbant des parois métalliques des cylindres en contact avec de la vapeur saturée, nous croyons pouvoir conclure de ce qui précède que  $h$  ne varie que dans des limites assez restreintes et que, en prenant pour ce coefficient les valeurs moyennes trouvées ci-dessus, ou mieux celles données par la formule précédente, on arrive à déterminer les quantités de chaleur perdue pendant l'admission avec une approximation suffisante en pratique.

Bourges, mai 1897.

## BULLETIN

PRODUCTION DU CUIVRE BRUT, DU ZINC, DE L'ÉTAIN, DU NICKEL  
ET DE L'ANTIMOINE DANS LE MONDE DE 1890 A 1896.

PRODUCTION DU CUIVRE BRUT DE 1890 A 1896 (\*).

	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896
	ton. métr.						
Allemagne.....	24.427	24.092	24.781	24.011	25.722	25.777	29.319
Grande-Bretagne.....	89.376	94.793	100.573	90.674	69.611	78.246	76.000
France.....	2.600	4.000	6.400	6.600	6.400	8.245	8.500
Autriche-Hongrie.....	1.267	1.280	1.154	1.287	1.612	1.152	1.200
Italie.....	1.384	1.558	2.564	2.371	2.670	2.375	3.030
Russie.....	4.872	4.872	4.978	5.080	5.080	5.080	5.080
Autres Etats d'Europe.....	1.300	1.300	1.400	1.300	1.300	1.300	1.300
<i>Importation en Europe.</i>							
Du Japon.....	12.978	10.924	8.405	5.620	6.343	10.300	10.000
D'Australie.....	5.933	6.538	3.980	4.621	5.596	8.100	8.500
D'Amérique (**). ..	32.389	52.262	34.064	84.774	101.502	83.382	143.000
<i>Production de et pour l'Eu- rope.....</i>	176.526	201.619	188.299	226.338	225.836	225.957	285.929
<i>Production des Etats-Unis, non compris l'exporta- tion (***).....</i>	103.463	88.258	118.955	70.731	88.215	114.914	82.500
<i>Japon (consommation en Asie) (****).....</i>	2.262	6.348	9.883	12.668	14.027	8.424	9.000
<i>Production totale.....</i>	282.251	291.225	317.137	309.747	328.078	349.295	377.429

(\*) Les nombres en italique sont donnés, au moins pour partie, par estimation.

(\*\*) Chili et Etats de l'Amérique du Sud, États-Unis, Mexique, colonies anglaises du nord de l'Amérique.

(\*\*\*) Production des Etats-Unis: 1890, 121.522; 1891, 135.376; 1892, 159.685; 1893, 151.871; 1894, 164.149; 1895, 177.323; 1896, 208.500 tonnes.

(\*\*\*\*) Quantités auxquelles il y a lieu, pour avoir la production réelle, d'ajouter l'importation en Europe précédemment indiquée.

PRODUCTION DU ZINC BRUT DE 1890 A 1896.

	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896
	ton. métr.						
États allemands de l'ouest, Belgique, Hollande.....	139.832	141.930	145.598	152.146	154.859	174.889	182.606
Silésie.....	88.875	88.473	89.161	91.755	92.603	95.519	97.409
Grande-Bretagne.....	29.011	29.880	30.795	28.829	32.578	29.967	26.294
France et Espagne.....	18.532	18.654	18.961	20.914	21.585	23.261	28.905
Autriche.....	7.249	6.543	5.100	7.681	8.717	8.489	9.403
Russie.....	3.678	3.820	4.338	4.602	5.095	5.039	6.263
Etats-Unis.....	60.808	72.904	78.944	72.166	65.440	79.457	74.274
<i>Production totale.....</i>	348.585	362.204	372.900	378.093	380.877	416.621	425.154

PRODUCTION DE L'ÉTAIN DE 1890 A 1896.

	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896
	ton. métr.						
Angleterre.....	9.755	9.502	9.418	8.978	8.460	6.754	5.080
Expéditions des Détroits en Europe et en Amérique.....	27.909	31.960	35.202	40.305	46.370	48.605	47.935
Expéditions d'Australie.....	6.518	6.087	6.068	5.668	5.917	5.072	4.389
Vente Banka en Hollande.....	5.402	5.435	6.401	5.328	5.716	6.321	6.843
Vente Billiton en Hollande et à Java.....	5.316	5.845	5.649	5.549	4.811	4.612	5.121
Importation de Bolivie en Angleterre.....	1.691	1.584	2.864	2.956	3.538	4.162	3.890
Vente Singkep.....	»	»	»	»	»	634	852
Allemagne et Autriche.....	113	343	756	1.016	976	944	519
<i>Production totale.....</i>	56.704	60.756	66.358	69.800	75.788	77.124	74.629

PRODUCTION DU NICKEL DE 1890 A 1896.

	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896
	ton. métr.						
Suède et Norvège.....	78	103	97	90	90	90	?
Allemagne (*).....	434	594	746	893	522	608	?
Etats-Unis et Canada.....	744	2.160	1.932	1.823	2.250	1.800	?
Nouvel Calédonie (**). ..	1.200	1.900	950	1.600	1.900	1.850	2.150
<i>Production totale.....</i>	2.456	4.757	3.725	4.406	4.762	4.438	?

(\*) Production de la Prusse seulement, à laquelle il y aurait lieu d'ajouter le nickel produit dans le royaume de Saxe.

(\*\*) Non compris l'exportation du minerai de la Nouvelle-Calédonie en Allemagne.

## PRODUCTION DE L'ALUMINIUM DE 1890 A 1896.

	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Suisse (*)	40.538	108.669	237.395	437.476	600.000	650.000	650.000
Angleterre	70.000	52.500	41.000	"	"	"	"
France	37.000	36.000	75.000	137.000	270.000	360.000	500.000
Etats-Unis	27.850	76.138	133.635	141.336	370.372	416.760	588.960
Production totale	175.388	533.307	487.030	715.812	1.240.372	1.426.760	1.738.900

(\*) Le chiffre de 1896 est donné par estimation.

(Extrait des Statistische Zusammenstellungen über Blei, Kupfer, Zink, Zinn, Silber, Nickel und Aluminium von der Metallgesellschaft, 4. Jahrgang).

## COMMISSION DU GRISOU.

SUR LA

## LAMPE DE SURETÉ

A RALLUMEUR SYSTÈME LAUNE.

## I. — RAPPORT PRÉSENTÉ A LA COMMISSION

Par M. G. CHESNEAU, Ingénieur en chef des Mines.

Par lettre en date du 30 mars 1897, M. le Ministre des travaux publics a soumis à la Commission du grisou pour examen et avis une communication de M. Laune, mécanicien à Marseille, concernant un système de lampe de sûreté à rallumer, dont il est l'inventeur.

Cet appareil, dont M. Laune nous a remis un exemplaire, avec le dessin d'exécution, n'est autre qu'une lampe Marsaut ordinaire, à laquelle M. Laune a adapté un système de rallumeur de son invention, par allumettes chimiques en bois; en voici la description et le fonctionnement.

Le rallumeur comprend un certain nombre d'organes que l'on peut diviser en trois parties : 1° le porte-allumettes; 2° le pousse-allumettes; 3° l'allumoir.

1° Porte-allumettes. — Il se compose d'un barillet-revolver A, placé entre les plaques supérieures et inférieures.

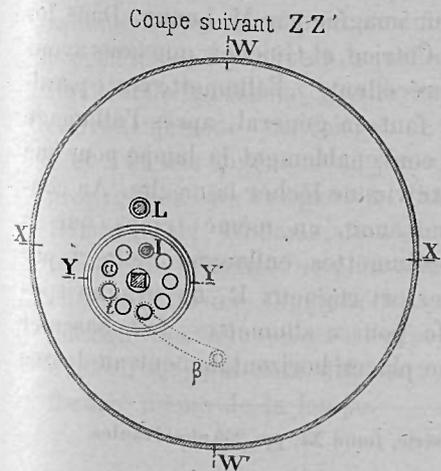
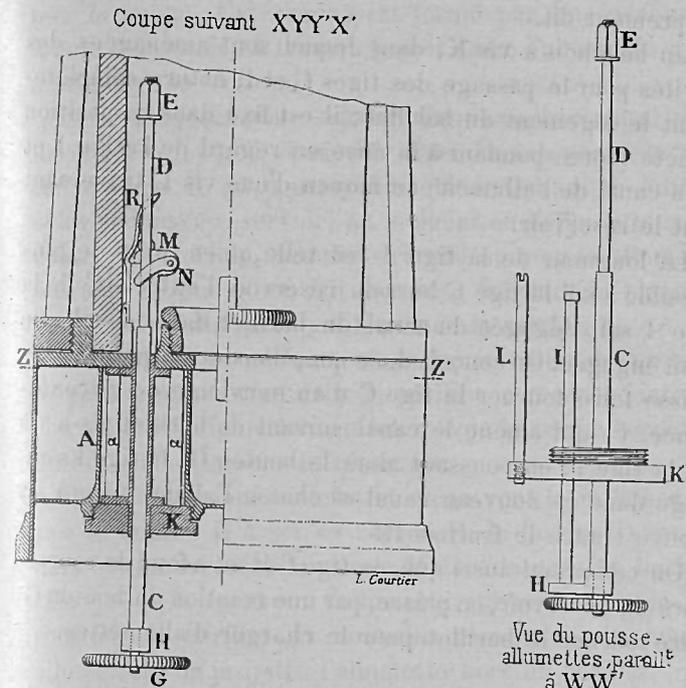
rieures du réservoir à huile de la lampe. Ce barillet peut recevoir neuf allumettes chimiques dans autant de logements formés de cylindres  $\alpha$  parallèles à l'axe de rotation du barillet, parallèle lui-même à l'axe de symétrie de la lampe. La plaque supérieure du réservoir est percée d'un trou  $t$  placé de telle manière que, pendant la rotation du barillet, obtenue comme nous le verrons plus loin, chaque logement d'allumette vienne se placer en regard de ce trou, et c'est par celui-ci qu'on introduit les allumettes dans le barillet.

La longueur des allumettes est de 22 millimètres ; elles sont du type dit « allumettes viennoises » en bois paraffiné, sans soufre. Un ressort  $\beta$  avec butoir à pointe émoussée, fixé sur la plaque supérieure du réservoir, permet d'arrêter successivement le barillet pendant sa rotation, dans chacune des positions où un conduit  $\alpha$  du barillet se trouve vis-à-vis de l'orifice d'introduction des allumettes.

2° Pousse-allumettes. — Cet organe sert à pousser les allumettes hors de leur logement contre l'allumoir ainsi qu'à faire tourner le barillet pour amener successivement chaque allumette en face de l'allumoir.

Il se compose d'une tige carrée C, prolongée par une partie amincie et cylindrique D, terminée elle-même par un écrou E.

La partie carrée s'engage à frottement doux dans un canal pratiqué dans l'axe du barillet ; en sorte que, lorsqu'on donne à la tige C un mouvement longitudinal, le barillet reste immobile, tandis que, lorsqu'au moyen du bouton G on donne à la tige C un mouvement de rotation autour de son axe, elle entraîne le barillet. Tout près du bouton G, la tige C est amincie et rendue cylindrique sur 5 millimètres de longueur, de façon à pouvoir tourner dans l'œil d'une manivelle H, à laquelle est fixée d'une



façon rigide la tige I, qui constitue le pousse-allumettes proprement dit.

Un bouchon à vis K, dans lequel sont aménagées des cavités pour le passage des tiges C et I, obture complètement le logement du barillet; il est fixé dans sa position exacte (correspondant à la mise en regard de la tige I et d'un canal de l'allumoir) au moyen d'une vis L traversant tout le réservoir.

La longueur de la tige I est telle qu'en tirant le plus possible à soi la tige C hors du réservoir l'extrémité de la tige I soit dégagée du canal du barillet dans lequel elle était engagée. On conçoit donc que, dans cette position, on puisse faire tourner la tige C d'un neuvième de circonférence, ce qui amène le canal suivant du barillet vis-à-vis de la tige I; en poussant alors le bouton G, la tige I s'engage dans ce nouveau canal et chasse l'allumette qui s'y trouve contre le frottoir R.

On comprend aussi que, la tige C étant à fond de course, hors du réservoir, on puisse, par une rotation du bouton G, faire tourner le barillet pour le charger d'allumettes.

3° Allumoir. — C'est la partie qui constitue l'organe le plus original du rallumeur imaginé par M. Laune. Dans les rallumeurs à allumettes Catrice, et Guichot, que nous avons décrits dans un rapport précédent (\*), l'allumette reste parallèle à la mèche, et il faut en général, après l'allumage de l'allumette, incliner convenablement la lampe pour que la flamme de l'allumette vienne lécher la mèche. Au contraire, dans l'allumeur Laune, en même temps que la manœuvre du pousse-allumettes enflamme celle-ci par frottement contre le ressort rugueux R, un organe spécial, manœuvré par le pousse-allumettes, fait basculer l'allumette qui vient se placer horizontalement au-dessus

(\*) *Annales des Mines*, 9<sup>e</sup> série, tome XI, pp. 250 et suivantes.

de la mèche, et à une distance très faible, dans la position même où l'on placerait l'allumette avec la main pour allumer la lampe. Cet organe est formé par une plaque M munie d'un trifice à travers lequel passe l'allumette avant d'atteindre le frottoir.

Cette plaque mobile autour d'un axe horizontal porte un ergot N, percé d'un œil dans lequel passe la partie amincie D du pousse-allumettes. Quand on enfonce celui-ci dans le réservoir, au moment où l'allumette arrive contre le frottoir, la partie carrée du pousse-allumettes entraîne l'ergot N et fait par suite basculer la plaque M qui amène l'allumette au-dessus de la mèche.

L'allumette se consume et, la lampe rallumée, on laisse le pousse-allumettes dans la position correspondante, où l'on peut d'ailleurs le maintenir avec la partie recourbée de l'émouchette sous le réservoir.

Quand la lampe s'éteint et qu'on veut la rallumer, on tire le bouton G à soi, et l'écrou E de la tige D ramène dans ce mouvement la plaque M dans la position horizontale prête à recevoir l'allumette suivante lorsque, par rotation du barillet et nouvelle manœuvre du pousse-allumettes, on projette l'allumette hors du barillet.

Au point de vue de la sécurité, il est évident que le rallumeur Laune ne peut modifier en quoi que ce soit les propriétés de la lampe à laquelle il est adapté, à la condition, facile à réaliser, que le bouchon obturateur K soit convenablement construit, et ne laisse pas entre les tiges C et I et leur logement un jeu suffisant pour permettre la propagation de l'explosion d'un mélange inflammable. D'autre part, l'inflammation du mélange explosif à l'intérieur de la lampe ne peut allumer (et encore bien difficilement) qu'une allumette à la fois par l'orifice d'introduction des allumettes: l'effet produit sur le mélange explosif ne peut donc différer sensiblement de celui de la flamme même de la lampe.

Nous nous sommes donc contenté de vérifier le fonctionnement du système présenté par M. Laune au point de vue du rallumage. Nous avons constaté par un grand nombre d'expériences que, malgré la complexité des organes de ce système, le rallumage s'effectue très bien et que les ratés ne sont pas à craindre, si l'allumette est en très bon état et le frottoir suffisamment rugueux. Mais on peut se demander si un usage prolongé dans les travaux souterrains ne serait pas susceptible de dérégler les organes assez délicats du pousse-allumettes.

Quoi qu'il en soit, les seuls inconvénients que nous croyons devoir signaler, en supposant l'appareil en bon état de fonctionnement, sont les suivants :

1° L'opération du chargement du barillet est forcément un peu longue, puisqu'il faut amener successivement chaque canal du barillet en regard de l'orifice d'introduction des allumettes, et il ne paraît guère possible d'y remédier, le barillet ne pouvant être extrait de son logement et remplacé que par des manœuvres encore plus compliquées ;

2° Il faut généralement exercer une certaine pression sur la tête des allumettes pour les introduire à fond dans le barillet, et l'on risque d'écraser la pâte chimique, ce qui fait perdre l'allumette. De plus, si l'on a fendu le bois de l'allumette dans cette pression, elle peut se ployer quand on la chasse avec le pousse-allumettes ou s'insinuer entre le frottoir et la plaque M, ce qui paralyse tout l'appareil ;

3° Enfin le système du pousse-allumettes est assez mal maintenu par l'émouchette et tend à sortir à fond de course hors du réservoir, pouvant ainsi se fausser facilement dans le transport. Il serait très facile de parer à ce défaut au moyen d'un taquet spécial placé sous le réservoir.

Ces divers inconvénients paraissent compenser jusqu'à

un certain point les très sérieux avantages du dispositif ingénieux qui fait basculer les allumettes au moment de leur inflammation : la pratique seule pourrait d'ailleurs permettre de se prononcer à cet égard et d'établir si les organes complexes du rallumeur Laune ne sont pas trop délicats pour supporter le maniement forcément assez brutal des lampes de mines dans les chantiers souterrains.

En résumé, sous le bénéfice des observations précédentes, nous estimons que le rallumeur par allumettes du système Laune est susceptible de fonctionner convenablement et paraît applicable sans danger, dans sa disposition actuelle, aux lampes de sûreté de types agréés par l'Administration.

8 mai 1897.

## II. — AVIS DE LA COMMISSION DU GRISOU.

Après avoir entendu la lecture du rapport de M. Chesneau et en avoir délibéré, la Commission est d'avis, avec le rapporteur, que l'application du rallumeur Laune aux lampes de sûreté agréées par l'Administration peut être faite sans danger ; mais, vu la complexité et la délicatesse de ses organes, dans son état actuel, elle fait toutes réserves quant à la possibilité de son emploi courant dans les mines, que des expériences pratiques faites dans les chantiers souterrains permettraient seules d'apprécier.

Néanmoins, en vue de rendre hommage à l'ingéniosité déployée par l'inventeur, dont l'appareil semble d'ailleurs susceptible de perfectionnements, la Commission estime qu'il y a lieu de proposer à M. le Ministre des travaux publics l'insertion aux *Annales des Mines* du rapport de M. Chesneau, suivi de l'avis de la Commission.

## ÉTUDE

SUR LES

## ENCLÈCHEMENTS ENTRE LEVIERS

SERVANT À LA MANŒUVRE DES SIGNAUX, AIGUILLES, ETC., DES CHEMINS DE FER

Par feu M. MASSIEU, Inspecteur général des Mines, Directeur  
du Contrôle des Chemins de fer de l'Est ;

Revue et publiée (\*)

par M. Louis ÉTIENNE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,  
Ingénieur en Chef-Adjoint du Service de la Voie des Chemins de fer  
de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

## Exposé.

1. — L'étude que j'entreprends concerne une question qui a été déjà souvent traitée, et elle ne peut avoir d'autre prétention que de compléter, d'éclaircir, s'il se peut, ce qu'ont fait mes devanciers, dont je m'abstiendrai de citer dès à présent les noms, parce que je craindrais que la liste n'en risquât d'être incomplète.

Je me sers couramment, depuis plusieurs années, pour étudier les enclèchements, d'une méthode que je crois sûre et d'une application facile, si j'en juge par la promp-

(\*) L'étude de M. Massieu sur les enclèchements a été entreprise à deux époques distinctes et suivant deux programmes légèrement différents; elle était inachevée au moment de sa mort, ce qui explique notamment l'absence de transitions et de conclusions finales. J'ai cherché, en publiant cette étude, à respecter le plus possible le texte du manuscrit; aussi me suis-je abstenu de le compléter et de combler les lacunes qui ne nuisaient pas à son intelligence.

L. E.

titude avec laquelle plusieurs de mes collaborateurs, dans le service qui m'est confié, sont arrivés à l'appliquer.

Cette méthode s'applique principalement aux enclèchements les plus simples entre deux leviers de manœuvre, auxquels, pour ce motif, on donne le nom de *binaires simples*, mais qui sont toujours de beaucoup les plus nombreux dans tous les postes; elle a pour but de permettre de lire, sur une même ligne, les liaisons tant directes qu'indirectes qui sont établies entre chaque levier d'un poste et tous les autres leviers du même poste, liaisons qui subordonnent l'une ou l'autre position du levier considéré à des positions déterminées des autres leviers.

Par *enclèchements directs* on doit entendre ceux qui sont matériellement et directement réalisés dans le poste entre des groupes de deux ou plusieurs leviers. Les *enclèchements indirects* sont ceux qui résultent de la coexistence des précédents.

Je joins aux projets d'enclèchements qui sont soumis à mon examen un tableau à double entrée, analogue à une table de multiplication et où sont indiqués, comme je l'ai déjà dit, les enclèchements tant directs qu'indirects de chaque levier avec les autres leviers du même poste.

Quant aux enclèchements autres que les enclèchements binaires simples et que je définirai tout à l'heure, j'ai reconnu qu'il n'y avait aucun intérêt à chercher à les inscrire dans le tableau dont je viens de parler, attendu qu'ils ne pourraient qu'en altérer la précision. J'ai trouvé plus pratique de les mentionner à côté de ce tableau, sauf à signaler, par des renvois, les occasions où il y a lieu de s'y reporter.

D'ailleurs, le tableau à double entrée équivaut à ce que l'on peut représenter en géométrie plane sur une feuille de papier, alors que l'on n'a à considérer que deux dimensions; mais on conçoit que le même mode de représentation ne se prêterait pas aussi nettement à la représenta-

tion de liaisons plus complexes, notamment entre plusieurs leviers, pas plus qu'il ne se prête à la représentation des relations de la géométrie à plus de deux dimensions.

J'avais eu d'abord l'intention (et j'aurais eu le désir de pouvoir y donner suite) d'exposer exclusivement la méthode que je suis, abstraction faite de toute considération des systèmes divers de mécanismes employés pour la réalisation des enclenchements, de n'y envisager en quelque sorte que des combinaisons algébriques ou géométriques ; mais j'ai dû reconnaître que cette manière de procéder exposerait le lecteur à douter quelquefois de la possibilité de réaliser matériellement ces combinaisons, comme cela m'est arrivé à moi-même, quand j'ai eu à envisager dans les projets certains enclenchements plus ou moins compliqués, autres que les enclenchements binaires simples, et je me suis décidé à présenter d'abord un exposé des mécanismes d'un des systèmes employés, en réduisant cet exposé, autant que possible, à son essence théorique.

J'ai choisi pour type à peu près le système Vignier primitif et horizontal, qui me paraît se prêter mieux que tout autre à la représentation des liaisons que l'on étudie, parce qu'il permet de les représenter sur un plan et par suite de les figurer sur une feuille de papier.

Bien que je ne me propose nullement, dans cette étude, de présenter un essai de traité complet des enclenchements, il ne m'a pas paru possible de me dispenser d'en exposer les bases, ou, si l'on veut, les principes. Je tiens à éviter d'abord au lecteur de mon travail la nécessité éventuelle d'avoir à se reporter préalablement aux écrits déjà publiés sur la matière, et en outre il m'a semblé nécessaire de bien préciser la signification qu'il faut donner à certaines expressions, même au mot d'*enclenchement*, qui est peut-être entendu, suivant les cas, de manières différentes.

2. — La présente étude se composera donc de deux parties essentielles.

Dans la première partie, je rappellerai aussi succinctement que possible le principe et la signification des différentes sortes d'enclenchements ; j'indiquerai les solutions que donnent, pour les réaliser, les dispositions du système Vignier qui me servira de type.

Dans la seconde partie, je ferai connaître la méthode que j'emploie pour l'étude des enclenchements binaires simples et qui permet de se rendre très facilement compte de toutes les liaisons directes ou indirectes qu'ils établissent entre les divers leviers d'un même poste. Je montrerai comment la considération de ces enclenchements peut être complétée par celle des enclenchements plus compliqués, et comment ainsi on peut étudier l'ensemble des dispositions d'un poste à leviers plus ou moins nombreux.

Cette seconde partie comprendra en outre la description des dispositions d'un certain nombre de postes d'enclenchements établis sur divers réseaux français.

---

## PREMIÈRE PARTIE.

### PRINCIPES ET SIGNIFICATION DES ENCLÈCHEMENTS.

3. — Tout levier servant à manœuvrer soit un signal, soit une ou plusieurs aiguilles, doit toujours être poussé à fond de course, dans l'un ou l'autre sens, et ne doit jamais être abandonné dans une position intermédiaire.

L'une des positions extrêmes du levier se nomme *position normale*, et l'autre *position renversée*. Le choix de celle des deux positions extrêmes qu'on appelle soit nor-

male, soit renversée, est en principe affaire de convention. Ainsi rien n'empêcherait de prendre, pour position normale de chaque levier d'un poste, la position dans laquelle on trouverait ce levier, en pénétrant à un moment quelconque dans ce poste. Le choix ainsi fait, il est évident que tous les leviers pourront, quelles que soient les liaisons établies entre eux, se trouver simultanément dans leurs positions normales. Nous supposons par la suite que cette condition est toujours remplie.

Dans l'une de ses positions extrêmes le levier est redressé et poussé en avant de l'agent qui le manœuvre; dans l'autre position extrême, il est au contraire ramené vers l'agent et abaissé vers lui. Sur le réseau de l'État, la première position s'appelle *position droite*, et la seconde *position renversée*. Nous désignerons plus volontiers cette seconde position sous le nom de *position abaissée*, de telle sorte que l'expression de *position renversée* soit nettement réservée pour désigner la position opposée à celle qui a été choisie comme *position normale*.

4. — Les postes d'enclenchement sont souvent montés de telle sorte que, s'il s'agit d'un signal, ce signal soit fermé, quand son levier de manœuvre est dans la *position droite*. S'il s'agit d'un levier manœuvrant une ou plusieurs aiguilles, des verrous, des blocs ou taquets d'arrêt, ces appareils se trouvent dans une position à définir dans chaque cas et qui, en ce qui concerne les aiguilles situées sur les voies principales, est généralement la position assurant la continuité de la circulation sur ces voies.

Le plus souvent la position d'un levier que nous choisissons pour sa position normale sera sa position droite; mais nous nous réservons de prendre pour position normale, dans certains cas, la *position abaissée* de ce levier.

Dans le choix de la *position normale* d'un levier nous nous imposerons toutefois une condition, c'est que la position choisie puisse toujours coexister avec la position

normale de tous les autres leviers du poste, de façon qu'en aucun cas il ne soit nécessaire, pour que le levier considéré puisse être amené à sa position normale, de placer définitivement un autre quelconque des leviers du poste dans la position considérée comme position renversée de ce dernier levier. Autrement dit, pour nous résumer, tous les leviers d'un poste doivent pouvoir se trouver simultanément dans leurs positions normales, telles qu'on les a définies.

Il est utile aussi, sinon indispensable, que tous les leviers d'un même poste puissent être placés simultanément dans leur position droite.

Ces explications données pour éviter toute confusion, nous considérerons, dans l'étude très-sommaire des mécanismes que nous voulons faire, et à moins d'avis contraire, que *la position normale des leviers se confond avec leur position droite*.

5. — Dans le système Vignier horizontal qui nous servira de type, un levier quelconque, en outre de la transmission rigide ou funiculaire le reliant à l'appareil à manœuvrer (signal, aiguille, etc.), est articulé avec une *barre d'enclenchement* horizontale qu'il déplace dans le sens de la longueur de cette barre, sans qu'elle sorte du plan vertical où le levier se meut lui-même.

La barre d'enclenchement conduit d'autre part par un renvoi d'équerre une *tringle d'enclenchement* également horizontale, qui lui est perpendiculaire et qui se déplace dans le sens de sa propre longueur; chaque levier manœuvre ainsi à la fois une barre, et par l'intermédiaire de cette barre une tringle d'enclenchement.

Chaque *barre d'enclenchement* présente des trous dans lesquels peuvent venir s'engager les verrous dont sont munies les *tringles d'enclenchement* conduites par les autres leviers du poste.

## ENCLÈCHEMENTS BINAIRES.

6. — Nous représentons dans la *fig. 1* en perspective trois leviers  $AA_1$ ,  $BB_1$ ,  $CC_1$ , qui se déplacent dans des plans verticaux parallèles entre eux en tournant autour de points fixes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , placés sur une même droite horizontale.

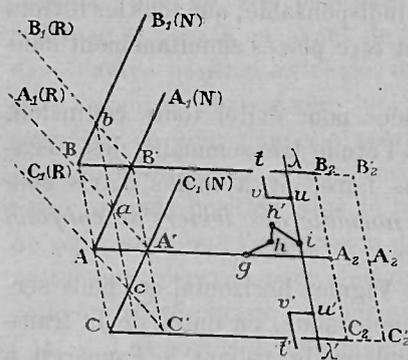


Fig. 1.

Ces leviers sont articulés à leur partie inférieure en  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , respectivement avec trois barres d'enclenchement  $AA_2$ ,  $BB_2$ ,  $CC_2$ .

Les trois leviers sont représentés en traits pleins dans leur position droite que nous prenons, par définition, pour leur

position normale, et en traits ponctués dans leur position abaissée, qui sera par conséquent leur position renversée.

Quand les leviers sont dans leur position droite ou normale, leurs extrémités inférieures se trouvent sur une même ligne horizontale  $BAC$ , parallèle à la droite  $bac$ , située au-dessous de cette dernière, et qui forme la tête des positions des barres d'enclenchement  $AA_2$ ,  $BB_2$ ,  $CC_2$ .

Chacune de ces barres d'enclenchement, quand on renverse le levier avec lequel elle est articulée, se déplace horizontalement dans le même plan vertical que ce levier (dans la *fig. 1* de la gauche vers la droite). Lorsque le levier est entièrement renversé, la barre a parcouru une certaine longueur, que nous appellerons sa course, qui

est la même pour toutes les barres et que nous désignerons au besoin par  $c$ .

Ainsi les barres figurées ci-dessus passeront, lorsqu'on renversera les leviers, de leurs positions  $AA_2$ ,  $BB_2$ ,  $CC_2$ , que l'on peut appeler aussi leurs positions normales, à leurs positions  $A'A'_2$ ,  $B'B'_2$ ,  $C'C'_2$ , qui seront leurs positions renversées.

De cette façon, au lieu de considérer les positions normale et renversée d'un levier, on pourra considérer les positions normale et renversée de la barre qu'il conduit, puisque ces positions se correspondent respectivement.

Ainsi que nous l'avons dit, chaque barre d'enclenchement conduit, par un renvoi d'équerre, une tringle d'enclenchement horizontale qui lui est perpendiculaire et qui se déplace dans le sens de sa longueur.

Sur la *fig. 1* on a représenté, pour la tringle qui correspond à la barre  $AA_2$  et, par conséquent, au levier  $AA_1$ , le renvoi d'équerre qui relie la barre à la tringle. Ce renvoi se compose, dans notre disposition type, d'un axe vertical  $hh'$  sur lequel sont fixées deux branches horizontales  $gh$  et  $h'i$  articulées, la première en  $g$  avec la barre  $AA_2$ , et la seconde en  $i$  avec la tringle  $\lambda\lambda'$ .

Nous avons supposé dans cette figure que la tringle portait deux verrous  $uv$  et  $u'v'$ , le premier placé, dans la position normale des appareils, en face d'une ouverture  $t$  pratiquée dans la barre  $BB_2$ , et le second, tourné en sens inverse du premier et engagé dans une ouverture  $t'$  de la barre  $CC_2$ .

On voit facilement que, dans ces conditions, le levier  $BB_1$  est libre, c'est-à-dire que rien n'empêcherait de le renverser, tandis que le levier  $CC_1$  est immobilisé dans sa position normale par le verrou  $v'$  engagé dans l'ouverture ou trou  $t'$  de sa barre d'enclenchement.

Si nous renversons d'abord le levier  $AA_1$ , la barre d'enclenchement  $AA_2$ , articulée avec ce levier, se dépla-

gant, de gauche à droite, de la longueur de sa course, viendra en  $A'A_2$ , et, par l'intermédiaire du renvoi d'équerre, fera avancer d'une course aussi la tringle d'enclenchement correspondante dans le sens  $\lambda\lambda'$ , d'où il résultera que le verrou  $v$  s'engagera dans l'ouverture  $t$  de la barre d'enclenchement  $BB_2$ , tandis que le verrou  $v'$  sortira de l'ouverture  $t'$  de la barre  $CC_2$ . Par conséquent le renversement du levier  $AA_1$  aura eu pour effet d'immobiliser le levier  $BB_1$ , qui était libre, et de rendre libre le levier  $CC_1$ , qui était immobilisé.

7. — Ce qui précède représente, dans un cas des plus simples, le mode de fonctionnement des appareils d'enclenchement qui nous serviront de types ; mais, pour des cas plus complexes, comme nous aurons à en considérer, des figures représentant en perspective les dispositions des appareils seraient fort incommodes, et il y a un grand avantage à pouvoir figurer ces dispositions d'une façon nette par une simple projection sur un plan, lequel, avec le type adopté, sera un plan horizontal. Pour y parvenir, une convention est nécessaire.

Si l'on supposait que les verrous  $uv$  et  $u'v'$ , portés par la tringle  $\lambda\lambda'$  de la *fig. 1*, fussent placés dans le plan vertical qui passe par l'axe de cette tige, leurs projections horizontales se confondraient avec celle de la tige elle-même et le jeu des verrous deviendrait difficile à faire comprendre.

Pour éviter cet inconvénient, nous supposerons les verrous, tels que  $uv$  et  $u'v'$ , situés dans un plan passant par la tringle qui les porte, mais oblique sur le plan vertical qui contient cette tringle, de façon que les projections horizontales des verrous soient nettement distinctes de la projection de la tringle et placés à gauche, par exemple, de celle-ci.

Dans la projection horizontale du système ainsi obtenu, les lignes qui figureraient les leviers se confondraient

avec celles qui représenteraient les barres d'enclenchement correspondantes ; mais nous pouvons faire abstraction des projections des leviers, puisque les positions de ces derniers sont entièrement définies par les positions des barres d'enclenchement.

Nous arriverons ainsi à une représentation très simple, en projection sur plan horizontal, des dispositions tracées en perspective sur la *fig. 1*.

Dans la *fig. 2* les barres d'enclenchement sont supposées à fond de course vers la gauche, ce qui correspond à la position droite de leurs leviers de manœuvre, position considérée en général comme normale, tant qu'on n'aura pas fait de convention contraire. Des flèches indiquent le sens dans lequel se déplaceront les barres d'enclenchement, lorsque l'on renversera ou abaissera les leviers correspondants.

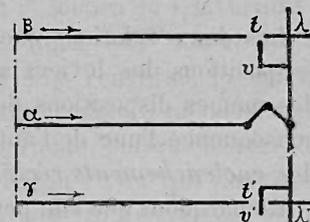


FIG. 2.

8. — Considérons maintenant les relations de positions entre les leviers  $\alpha$  ou  $AA_1$  et  $\beta$  ou  $BB_1$ , c'est-à-dire les liaisons entre ces deux leviers, telles qu'elles résultent des dispositions ci-dessus (*fig. 2*). On voit que, si l'on renverse le levier  $\alpha$ , la barre d'enclenchement s'avancant vers la droite et la tringle correspondante  $\lambda\lambda'$  se déplaçant de  $\lambda'$  vers  $\lambda$ , le verrou  $v$  s'engagera dans l'ouverture  $t$  de la barre  $B$  et l'immobilisera, ainsi que son levier de manœuvre, dans sa position normale ; c'est ce qu'on exprime le plus souvent en disant que :  $\alpha$  renversé enclenche  $\beta$  normal, et ce que l'on représente, d'après la notation de M. Cossmann, par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta N}$$

Remarquons, d'autre part, que, si l'on avait d'abord renversé  $\beta$ , le trou  $t$  de la barre  $\beta$ , qui aurait fait une course vers la droite, ne se trouverait plus en face du verrou  $v$  et que, par conséquent, on ne pourrait plus renverser  $\alpha$  qui resterait immobilisé dans la position normale; on dit qu'alors  $\beta$  renversé enclenche  $\alpha$  normal, ce que l'on représente, comme précédemment, par la formule symbolique

$$\frac{\beta R}{\alpha N}$$

Les deux relations que nous venons de trouver entre les positions des leviers  $\alpha$  et  $\beta$  résultent l'une et l'autre des mêmes dispositions des appareils: elles sont donc la conséquence l'une de l'autre, et on dit qu'elles constituent des *enclenchements réciproques*.

Remarquons que l'on peut exprimer d'une autre manière et envisager par suite sous une autre forme les enclenchements qui résultent des dispositions précédentes.

Si l'on avait renversé d'abord  $\beta$ , on ne pourrait plus ensuite renverser  $\alpha$ ; il en résulte que  $\alpha R$  ne peut coexister qu'avec  $\beta N$  et non avec  $\beta R$ , ou encore que l'on ne peut renverser  $\alpha$  qu'autant que  $\beta$  est normal.

De même, si l'on avait d'abord renversé  $\alpha$ , on ne pourrait plus ensuite renverser  $\beta$ ; il en résulte que  $\beta R$  ne peut coexister qu'avec  $\alpha N$  et non avec  $\alpha R$ , ou encore que l'on ne peut renverser  $\beta$  qu'autant que  $\alpha$  est normal.

On a souvent intérêt, comme on le verra par la suite, à considérer sous ce point de vue les deux enclenchements réciproques que représentent les formules symboliques,

$$\frac{\alpha R}{\beta N} \quad \text{et} \quad \frac{\beta R}{\alpha N}$$

9. — Passons maintenant aux relations de position entre les leviers  $\alpha$  et  $\gamma$ , c'est-à-dire aux enclenchements

qu'établissent entre ces leviers les dispositions de la *fig. 2*.

On voit d'abord que, dans la position normale des appareils, le verrou  $v'$ , étant engagé dans le trou  $t'$  de la barre  $\gamma$ , immobilisera cette barre dans sa position normale, tant que l'on n'aura pas renversé  $\alpha$ . C'est ce qu'on exprime en disant que  $\alpha$  normal enclenche  $\gamma$  normal, et ce que l'on représente par la formule symbolique

$$\frac{\alpha N}{\gamma N}$$

Si l'on renverse  $\alpha$ , le verrou  $v'$  sortira de l'ouverture  $t'$ , la barre  $\gamma$  deviendra libre, ainsi que son levier de manœuvre. Le levier  $\gamma$  pourra être renversé, la barre  $\gamma$  faisant une course vers la droite; alors  $\alpha$  ne pourra plus être ramené dans sa position normale, puisque le verrou  $v'$  ne se trouvera plus en face du trou  $t'$ ; on voit donc que  $\gamma$  renversé immobilise  $\alpha$  dans sa position renversée, ce que l'on exprime en disant que  $\gamma$  renversé enclenche  $\alpha$  renversé, et ce que l'on écrit symboliquement:

$$\frac{\gamma R}{\alpha R}$$

Les deux relations que nous venons de trouver entre les positions des leviers  $\alpha$  et  $\gamma$  résultent l'une et l'autre des mêmes dispositions des appareils; elles peuvent être regardées comme étant la conséquence l'une de l'autre, et on dit qu'elles constituent des enclenchements réciproques.

On peut envisager autrement les conséquences ou enclenchements qui résultent des dispositions précédentes.

Si l'on n'a pas d'abord renversé  $\alpha$ , on ne peut renverser  $\gamma$ ; il en résulte que  $\gamma R$  ne peut coexister qu'avec  $\alpha R$ , et non avec  $\alpha N$ , ou encore que l'on ne peut renverser  $\gamma$  qu'autant que  $\alpha$  est déjà lui-même renversé.

De même si l'on renverse d'abord  $\alpha$ , puis  $\gamma$ , on ne

pourra plus ramener  $\alpha$  dans sa position normale ;  $\alpha N$  ne peut donc coexister qu'avec  $\gamma N$  et non avec  $\gamma R$ , ou pour dire autrement :  $\alpha N$  entraîne  $\gamma N$ , exige que l'on ait  $\gamma N$ .

L'enclenchement  $\frac{\alpha N}{\gamma N}$  peut s'exprimer d'une autre manière qui nous sera fort utile par la suite : puisque  $\alpha N$  immobilise  $\gamma N$ , lorsqu'on aura renversé  $\alpha$ ,  $\gamma$  ne sera plus immobilisé, deviendra libre, et pourra être renversé à son tour ;  $\gamma$  sera alors dégagé, suivant l'expression usitée, par le renversement de  $\alpha$  ; on peut donc, au lieu de

$$\frac{\alpha N}{\gamma N},$$

écrire symboliquement

$$\frac{\alpha R}{\gamma D},$$

ce qui veut dire que :  $\alpha$  étant renversé,  $\gamma$  est dégagé.

10. — Les enclenchements que nous venons de décrire sont dits enclenchements binaires simples. Ils sont binaires, parce qu'ils sont établis entre deux leviers seulement ; ils sont simples, parce que l'un des deux leviers enclenche ou immobilise l'autre dans une seule position déterminée. Nous résumerons ce qui précède en disant :

1° Qu'entre les deux leviers  $\alpha$  et  $\beta$  existent les deux enclenchements réciproques suivants, conséquence l'un de l'autre :

$$\frac{\alpha R}{\beta N} \quad \text{et} \quad \frac{\beta R}{\alpha N},$$

2° Qu'entre les deux leviers  $\alpha$  et  $\gamma$  existent les deux enclenchements réciproques suivants, conséquence aussi l'un de l'autre :

$$\frac{\alpha N}{\gamma N} \quad \text{ou} \quad \frac{\alpha R}{\gamma D} \quad \text{et} \quad \frac{\gamma R}{\alpha R}.$$

11. — Ces deux enclenchements peuvent être réali-

sés autrement que ne l'indique la *fig. 2*, par la raison même qu'en réalisant l'un deux on réalise sa réciproque, et inversement. Chacun doit pouvoir être réalisé au moyen de deux dispositions différentes ; nous reprodui-

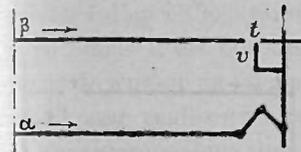


Fig. 3.

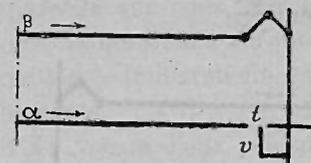


Fig. 3 bis.

sons ici, en regard l'une de l'autre, ces dispositions, celle déjà indiquée étant figurée à gauche (*fig. 3 et 4*), et la nouvelle à droite (*fig. 3 bis et 4 bis*).

1° Enclenchement

$$\frac{\alpha R}{\beta N} \quad \text{et} \quad \frac{\beta R}{\alpha N} \quad (\text{fig. 3 et 3 bis}).$$

On voit sur la *fig. 3 bis* que  $\alpha R$  immobilisera  $\beta N$ , le verrou  $v$  ne se trouvant plus en face du trou  $t$ , que  $\alpha R$  exige que  $\beta$  soit normal, qu'en un mot on a bien l'enclenchement  $\frac{\alpha R}{\beta N}$ .

On voit aussi que  $\beta$  ne peut être renversé que si  $\alpha$  est normal, si par conséquent le trou  $t$  se trouve en face du verrou  $v$ , enfin que  $\beta R$  immobilise  $\alpha$  normal ; on a donc bien l'enclenchement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ , réciproque du précédent.

2° Enclenchement

$$\frac{\alpha N}{\gamma N} \quad \text{ou} \quad \frac{\alpha R}{\gamma D} \quad \text{et} \quad \frac{\gamma R}{\alpha R}.$$

On voit sur la *fig. 4 bis* que  $\alpha$  normal immobilise  $\gamma$  normal, puisque le trou  $t$  ne se trouve pas en face du verrou  $v$ . Ce trou est supposé en effet placé dans la

barre  $\alpha$  à une distance du verrou  $v'$  égale à la course que cette barre fera vers la droite quand on renversera le levier  $\alpha$ . On voit d'ailleurs que  $\alpha N$  ne peut coexister qu'avec  $\gamma N$  et non avec  $\gamma R$ ; on a donc bien l'enclenchement  $\frac{\alpha N}{\gamma N}$ .

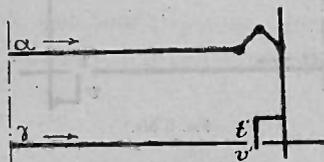


Fig. 4.

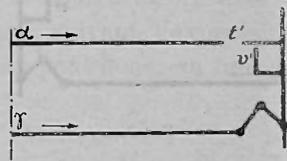


Fig. 4 bis.

On voit encore que, si l'on renverse  $\alpha$ , le levier  $\gamma$  deviendra libre ou dégagé, puisque, le trou  $t'$  étant alors amené en face du verrou  $v'$ , le levier  $\gamma$  pourra être renversé; on a donc bien l'enclenchement  $\frac{\alpha R}{\gamma D}$ , équivalent de  $\frac{\alpha N}{\gamma N}$ .

Enfin l'on ne peut renverser  $\gamma$  qu'après avoir renversé  $\alpha$ , et, d'autre part, quand on aura renversé d'abord  $\alpha$ , puis  $\gamma$ , on voit que  $\gamma$  renversé immobilisera  $\alpha$  renversé; on a donc bien l'enclenchement  $\frac{\gamma R}{\alpha R}$ , réciproque de l'enclenchement  $\frac{\alpha N}{\gamma N}$  ou  $\frac{\alpha R}{\gamma D}$ .

12. — Ce qui précède montre qu'avec les liaisons que nous supposons établies entre deux leviers  $\alpha$  et  $\beta$  ou  $\alpha$  et  $\gamma$  les deux leviers s'enclenchent réciproquement. Il n'y a donc pas lieu au fond de distinguer le levier enclencheur et le levier enclenché, puisque le levier enclencheur devient le levier enclenché, dans la réciproque et inversement. On peut toutefois, pour faciliter le langage, retenir les deux expressions précédentes en appelant enclencheur le levier qui figure au numérateur, et enclenché le levier qui figure au dénominateur, dans

l'expression symbolique de forme fractionnelle qui exprime l'enclenchement.

13. — Nous avons, pour bien faire comprendre les premières notions sur les enclenchements, pensé qu'il était utile de les exposer en supposant ces enclenchements réalisés d'après le système d'appareils qui nous sert de type; mais il est bon de reprendre la question à un autre point de vue et en faisant abstraction de tout système employé pour réaliser les enclenchements.

Considérons deux leviers  $\alpha$  et  $\beta$ ; chacun d'eux pouvant occuper deux positions, la position normale et la position renversée, les positions de ces deux leviers peuvent donner lieu aux quatre combinaisons suivantes :

$\alpha N$	et	$\beta N$
$\alpha N$	et	$\beta R$
$\alpha R$	et	$\beta N$
$\alpha R$	et	$\beta R$ .

Un enclenchement binaire simple entre les deux leviers  $\alpha$  et  $\beta$  n'a pas d'autre but et d'autre effet que de rendre mécaniquement impossible l'une de ces quatre combinaisons.

Nous avons déjà dit qu'il convenait de choisir, par définition, les positions normales des leviers d'un même poste, de façon que tous ces leviers pussent concurremment être amenés dans des positions, autrement dit de façon que les positions normales de tous les leviers fussent toujours compatibles entre elles. De là résulte que la combinaison  $\alpha N$  et  $\beta N$  devra toujours, si la règle précédente est observée, être possible et que l'enclenchement ne pourra exclure que l'une des trois autres combinaisons (\*).

(\*) Un enclenchement binaire simple de la forme  $\frac{\alpha N}{\beta R}$  ne peut donc se rencontrer.

Puisque l'on peut toujours avoir à la fois  $\alpha N$  et  $\beta N$ , l'exclusion qui résulte de l'enclenchement ne peut apparaître qu'au moment où l'on veut renverser l'un au moins des leviers.

Si donc la position du levier  $\alpha$  est dépendante de celle du levier  $\beta$ , cette dépendance ne peut revêtir que l'une des deux formes suivantes :

1°  $\alpha$  ne peut être renversé que si  $\beta$  est normal, ce qui s'exprime par la notation  $\frac{\alpha R}{\beta N}$ ;

2°  $\alpha$  ne peut être renversé que si  $\beta$  est renversé, ce que l'on traduit par  $\frac{\alpha R}{\beta R}$ ;

Si, au contraire, c'est la position du levier  $\beta$  qui dépend de celle du levier  $\alpha$ , cette dépendance ne peut également revêtir que les formes suivantes ;

3°  $\beta$  ne peut être renversé que si  $\alpha$  est normal, ce que l'on représente par la notation  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ ;

4°  $\beta$  ne peut être renversé que si  $\alpha$  est lui-même renversé, ce qu'indique la notation  $\frac{\beta R}{\alpha R}$ .

Considérons d'abord l'enclenchement du 1°,  $\frac{\alpha R}{\beta N}$ , que nous supposons matériellement réalisé.

Dire que  $\alpha$  ne pourra être renversé que si  $\beta$  est normal, c'est dire que  $\beta$  renversé immobilise  $\alpha$  normal.

La combinaison exclue est donc  $[\alpha R \text{ et } \beta R]$ , c'est-à-dire la 4<sup>ème</sup> et, comme conséquence de cette exclusion,  $\beta$  ne peut être renversé qu'autant que  $\alpha$  est normal, d'où l'enclenchement réciproque du précédent  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ .

On voit donc que l'on pourrait représenter l'enclenchement que nous venons d'examiner, en indiquant simplement la combinaison qu'il rend impossible, et cela au

moyen de la formule symbolique

$$(\alpha R, \beta R).$$

Passons à l'enclenchement du 2° supposé matériellement réalisé  $\frac{\alpha R}{\beta R}$ .

Il indique que  $\alpha$  ne pourra être renversé que si  $\beta$  est lui-même renversé. Il en résulte que  $\beta$  normal immobilise  $\alpha$  normal : la combinaison exclue est la 3<sup>ème</sup> des combinaisons énumérées ci-dessus :

$$[\alpha R \text{ et } \beta N].$$

Cet enclenchement a pour conséquence que  $\beta$  ne peut être ramené à sa position normale que si  $\alpha$  est normal, d'où l'enclenchement réciproque  $\frac{\beta N}{\alpha N}$ .

Il nous reste à examiner les relations d'enclenchement du 3° et du 4°.

Nous avons déjà rencontré l'enclenchement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$  comme réciproque de l'enclenchement du 1°; cette relation ne nous indique rien de nouveau.

Il n'en est pas de même pour l'enclenchement du 4°, c'est-à-dire  $\frac{\beta R}{\alpha R}$ .

Dire que  $\beta$  ne peut être renversé que si  $\alpha$  est renversé, c'est dire aussi que  $\alpha$  normal immobilise  $\beta$  normal. La combinaison exclue par cet enclenchement est  $(\alpha N \text{ et } \beta R)$ ; on déduit de là que  $\alpha$  ne peut être ramené à la position normale, si  $\beta$  n'est pas au préalable normal, relation qui se représente par la notation  $\frac{\alpha N}{\beta N}$ .

Il convient de rappeler qu'au lieu de dire :  $\beta N$  enclenche ou immobilise  $\alpha N$ , on peut exprimer la même relation en disant que  $\beta R$  dégage  $\alpha N$ , ce qui peut s'écrire :

$\frac{\beta R}{\alpha D}$ , aussi bien que  $\frac{\beta N}{\alpha N}$ . La formule symbolique  $\frac{\beta R}{\alpha D}$  signifie en effet que  $\alpha$  ne devient libre et ne peut être renversé qu'après que  $\beta$  a été lui-même renversé.

14. — Nous n'avons jusqu'ici envisagé que la liaison, c'est-à-dire l'enclenchement d'un levier  $\alpha$  avec un autre levier  $\beta$ ; mais  $\alpha$  peut être aussi relié par des enclenchements binaires simples avec d'autres leviers  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\varepsilon$ , et l'enclenchement de  $\alpha$  avec ces autres leviers pourra être de l'une des formes ci-dessus indiquées; on pourra avoir par exemple entre  $\alpha$  et  $\gamma$ :

Soit l'enclenchement  $\frac{\alpha R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\alpha N}$ ;

Soit l'enclenchement  $\frac{\alpha R}{\gamma R}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma N}{\alpha N}$  ou  $\frac{\gamma R}{\alpha D}$ ;

Soit enfin l'enclenchement  $\frac{\alpha N}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\alpha R}$ .

Quand, pour représenter un enclenchement, on fait usage de la formule symbolique, sous forme de fraction, que nous avons jusqu'ici employée, il ne faut pas oublier que la position indiquée au numérateur de la fraction pour l'un des leviers entraîne forcément pour l'autre levier la position indiquée au dénominateur de la fraction.

De là résulte que les formules à forme fractionnelle peuvent se multiplier entre elles comme les fractions ordinaires, et que le produit ainsi obtenu, s'il se réduit, après suppression des termes communs au numérateur et au dénominateur, à une fraction simple, représente un enclenchement indirect entre les leviers qui figurent au numérateur et au dénominateur de ce produit.

Ainsi supposons qu'on ait réalisé matériellement les enclenchements binaires simples,

$$\frac{\alpha R}{\beta R}, \quad \frac{\beta R}{\gamma N}, \quad \frac{\delta R}{\gamma R}.$$

Si nous multiplions ces trois fractions entre elles, le produit serait une fraction dont les deux termes se composeraient chacun de deux facteurs, et ne nous donnerait aucun résultat utilisable; mais nous pouvons toujours remplacer un enclenchement par sa réciproque, prendre par exemple  $\frac{\gamma N}{\delta N}$  au lieu de  $\frac{\delta R}{\gamma R}$ , et alors nous aurons à combiner, à composer si l'on veut, les trois enclenchements:

$$\frac{\alpha R}{\beta R}, \quad \frac{\beta R}{\gamma N}, \quad \frac{\gamma N}{\delta N}.$$

Si nous multiplions ces trois fractions entre elles, nous obtiendrons, après suppression des termes communs au numérateur et au dénominateur du produit:

$$\frac{\alpha R}{\beta R} \times \frac{\beta R}{\gamma N} \times \frac{\gamma N}{\delta N} = \frac{\alpha R \times \beta R \times \gamma N}{\beta R \times \gamma N \times \delta N} = \frac{\alpha R}{\delta N}.$$

Nos trois enclenchements composés entre eux donnent donc un nouvel enclenchement indirect  $\frac{\alpha R}{\delta N}$ , qui représente une liaison absolument réelle entre les leviers  $\alpha$  et  $\delta$ . Il nous reste à justifier la légitimité de ce résultat.

Si  $\alpha$  renversé exige que  $\beta$  soit renversé, entraîne forcément, si l'on veut,  $\beta$  renversé (1<sup>er</sup> enclenchement); si  $\beta R$  entraîne  $\gamma N$  (2<sup>o</sup> enclenchement), il en résulte évidemment que l'on ne peut avoir  $\alpha R$  sans  $\gamma N$ , d'où un premier enclenchement indirect entre les leviers  $\alpha$  et  $\gamma$ , obtenu en multipliant les deux fractions qui expriment symboliquement les deux enclenchements qui lui donnent naissance, ce qui donne:

$$\frac{\alpha R}{\beta R} \times \frac{\beta R}{\gamma N} = \frac{\alpha R}{\gamma N},$$

$\alpha R$  entraînant indirectement  $\gamma N$ , comme  $\gamma N$  entraîne d'autre part  $\delta N$  (3<sup>o</sup> enclenchement), il en résulte par voie

de combinaison un nouvel enclenchement indirect en multipliant entre elles les fractions  $\frac{\alpha R}{\gamma N}$  et  $\frac{\gamma N}{\delta N}$ , ce qui donne :

$$\frac{\alpha R}{\gamma N} \times \frac{\gamma N}{\delta N} = \frac{\alpha R}{\delta N}.$$

On voit que l'enclenchement indirect  $\frac{\alpha R}{\delta N}$  résulte bien de la multiplication des trois fractions :  $\frac{\alpha R}{\beta R}$ ,  $\frac{\beta R}{\gamma N}$ ,  $\frac{\gamma N}{\delta N}$ , qui représentent les trois enclenchements réalisés.

Si nous combinons entre eux de la même manière les réciproques  $\frac{\beta N}{\alpha N}$ ,  $\frac{\gamma R}{\beta N}$ ,  $\frac{\delta R}{\gamma R}$ , nous aurons, après suppression des termes communs au numérateur et au dénominateur du produit,  $\frac{\beta N}{\alpha N} \times \frac{\gamma R}{\beta N} \times \frac{\delta R}{\gamma R} = \frac{\delta R}{\alpha N}$ , c'est-à-dire l'enclenchement réciproque de l'enclenchement indirect ci-dessus trouvé :  $\frac{\alpha R}{\delta N}$ .

On voit, d'après ce qui précède, qu'en combinant, pour en tirer les conséquences qu'ils comportent, deux enclenchements directs (ce qui veut dire pour nous deux enclenchements matériellement réalisés, par exemple, dans notre système type d'appareils, au moyen de trous ou ouvertures pratiqués dans les barres d'enclenchement et de verrous portés par les tringles d'enclenchement), on peut en déduire, dans certains cas, un troisième enclenchement que nous appellerons indirect, mais qui n'en existe pas moins, qu'en combinant ce troisième enclenchement avec un autre enclenchement direct, ou même un autre enclenchement indirect, on peut en obtenir un quatrième qui n'existera pas moins réellement que les autres, et ainsi de suite. On est donc conduit à chercher une méthode d'étude qui permette d'établir

sûrement et sans exception toutes les conséquences des enclenchements directement réalisés, c'est-à-dire d'obtenir tous les enclenchements indirects qui en découlent. Cette méthode sera exposée dans la seconde partie de la présente étude.

15. — Revenons maintenant à la *fig. 2* qui représente, au moyen des appareils du système Vignier qui nous servent de type, la réalisation des enclenchements binaires simples seuls envisagés jusqu'ici.

On voit sur cette figure que chaque verrou ne peut s'engager que dans un trou unique des barres d'enclenchement, et il est bien entendu que ce trou n'a, abstraction d'un léger jeu, que les dimensions strictement nécessaires pour recevoir le verrou, de sorte que, ce dernier étant engagé dans le trou de la barre d'enclenchement, cette barre et son levier de manœuvre peuvent en fait être regardés comme immobilisés.

Supposons maintenant que dans une barre d'enclenchement il y ait deux trous espacés, de centre à centre, d'une longueur égale à la course de la barre, et placés de telle sorte que l'un de ces trous vienne se présenter devant un verrou, quand la barre est dans sa position normale, et que l'autre trou vienne se présenter devant le même verrou, quand la barre est dans sa position renversée.

Quelle que soit la position normale ou renversée de cette barre et de son levier de manœuvre, le verrou considéré pourra toujours être engagé et immobiliser la barre et son levier, comme le représente la *fig. 5*.

Avec ces dispositions, les quatre combinaisons que l'on peut former en prenant deux leviers,  $\alpha$  et  $\beta$  par exemple,

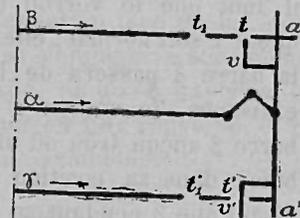


FIG. 5.

dans l'une ou l'autre de leurs positions, sont toutes possibles; aucune n'est exclue, et pourtant il n'y en a pas moins un véritable enclenchement, ainsi que nous allons l'expliquer.

Considérons d'abord les deux leviers, ou, ce qui revient au même, les deux barres d'enclenchement  $\alpha$  et  $\beta$ . Si  $\beta$  est normal, on pourra renverser  $\alpha$ , le verrou  $v$  porté par la tringle qui mène la barre  $\alpha$ , s'engagera dans le trou  $t$  de la barre  $\beta$  qu'il trouvera en face de lui. Si  $\beta$  est renversé, le trou  $t_1$  est venu en face du verrou  $v$ , qui pourra s'y engager, lorsqu'on renversera  $\alpha$ . On peut donc renverser  $\alpha$ , que  $\beta$  soit normal ou renversé, et  $\alpha$  étant renversé immobilisera  $\beta$ , soit dans sa position normale, soit dans sa position renversée, c'est ce qu'on exprime en disant que  $\alpha R$  enclenche  $\beta$  normal et  $\beta$  renversé, et ce que l'on représente par la formule symbolique :

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}$$

La figure précédente montre clairement, que si l'on veut faire passer  $\beta$  de l'une à l'autre de ses positions extrêmes, il faut que le verrou  $v$  soit retiré et que par conséquent  $\alpha$  soit normal; elle montre de plus que, pendant que la barre  $\beta$  passera de l'une à l'autre de ses positions extrêmes, le verrou  $v$  n'ayant en face de lui dans la barre  $\beta$  aucun trou où il puisse s'engager,  $\alpha$  sera immobilisé dans sa position normale, ce qu'on exprime en disant que  $\beta$  pendant sa course enclenche  $\alpha$  normal, et ce que l'on représente par la formule symbolique :

$$\frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha N}$$

que l'on peut regarder comme la réciproque de l'enclenchement précédent.

Considérons maintenant les deux barres d'enclenchement  $\alpha$  et  $\gamma$ .

Les appareils étant dans leur position normale, le verrou  $v'$  est engagé dans le trou  $t'$  de la barre  $\gamma$  et l'immobilise, ainsi que son levier de manœuvre. Si on renverse  $\alpha$ , le verrou  $v'$  sera dégagé du trou  $t'$ ; on pourra ensuite renverser  $\gamma$ , et, comme alors le trou  $t'_1$  se trouvera amené devant le verrou  $v'$ , on pourra ramener  $\alpha$  normal, le verrou  $v'$  s'engageant dans le trou  $t'_1$  et immobilisant  $\gamma$  dans sa position renversée. Donc  $\alpha N$  immobilise  $\gamma$  soit dans sa position normale, soit dans sa position renversée, ce qu'on exprime en disant que  $\alpha$  normal enclenche  $\gamma$  normal et  $\gamma$  renversé, et ce que l'on représente par la formule symbolique :

$$\frac{\alpha N}{\gamma N \text{ et } \gamma R}$$

La figure précédente montre nettement que, pour que l'on puisse faire passer  $\gamma$  de l'une à l'autre de ses positions extrêmes, il faut que le verrou  $v'$  soit retiré et que par suite  $\alpha$  soit renversé; elle montre de plus que, pendant le mouvement de la barre  $\gamma$ , de l'une à l'autre de ses positions extrêmes, le verrou  $v'$  n'ayant en face de lui, dans la barre  $\gamma$ , aucun trou où il puisse s'engager,  $\alpha$  sera immobilisé dans sa position renversée, ce qu'on exprime en disant que  $\gamma$  pendant sa course enclenche  $\alpha$  renversé, et ce que l'on représente par la formule symbolique :

$$\frac{\gamma \text{ pendant sa course}}{\alpha R}$$

formule que l'on peut regarder comme exprimant la réciproque de l'enclenchement précédent.

16. — Les enclenchements que nous venons d'examiner dans le paragraphe 15 sont appelés enclenchements binaires doubles. Ils sont binaires parce qu'ils sont établis

entre deux leviers seulement ; ils sont doubles, parce que l'un des leviers immobilise, enclenche l'autre dans ses deux positions extrêmes. Le premier levier ne peut d'ailleurs être placé dans la position où il enclenche le second levier qu'autant que le second levier est dans l'une de ses positions extrêmes, sa position normale ou sa position renversée.

Les enclenchements binaires doubles sont usités surtout pour assurer l'immobilisation de certaines aiguilles, des aiguilles de bifurcation notamment, dans l'une ou l'autre de leurs positions extrêmes. Le levier  $\alpha$  est alors le levier enclencheur, et, suivant qu'on a choisi pour sa position normale la position correspondant au verrou retiré ou celle correspondant au verrou engagé, on obtient la disposition représentée par la *fig. 5* soit pour les leviers  $\alpha$  et  $\beta$ , soit pour les leviers  $\alpha$  et  $\gamma$ .

Mais, dans ce cas, au lieu d'enclencher les deux leviers  $\alpha$  et  $\beta$  ou  $\alpha$  et  $\gamma$  dans le poste, il est préférable, pour bien assujettir les lames de l'aiguille, de reporter à cette aiguille même le verrou que manœuvre le levier  $\alpha$  et la barre d'enclenchement  $\beta$  ou  $\gamma$  qui porte les trous dans lesquels le verrou pourra s'engager. C'est la barre de connexion des lames de l'aiguille qui devient alors la barre d'enclenchement, et elle présente deux trous dans lesquels un verrou manœuvré à distance par le levier  $\alpha$  peut s'engager, pour bien immobiliser l'aiguille dans l'une et l'autre de ses positions et assurer le contact de l'une de ses lames avec le rail voisin.

#### ENCLÈCHEMENTS TERNAIRES.

17. — Nous n'avons jusqu'ici étudié que les enclenchements que l'on réalise entre deux leviers seulement et que pour cette raison nous avons appelés binaires, simples

ou doubles, ainsi qu'il a été expliqué. Mais on conçoit et on emploie des enclenchements entre un plus grand nombre de leviers ; ces enclenchements seront ternaires, quaternaires, etc., suivant qu'ils établiront des liaisons entre 3, 4, etc., leviers.

Nous avons déjà dit que, dans les postes d'enclenchement, les enclenchements binaires sont toujours de beaucoup les plus nombreux ; on rencontre en outre des enclenchements entre un plus grand nombre de leviers ; mais ils sont d'autant moins nombreux qu'ils intéressent plus de leviers.

18. — Nous en tenant pour le moment aux enclenchements ternaires, considérons trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  qui peuvent chacun occuper deux positions, la position normale et la position renversée ; les positions de ces leviers combinées trois à trois peuvent, si les leviers sont entièrement libres, donner lieu aux 8 combinaisons qu'indique le tableau suivant :

NUMEROS des COMBINAISONS	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	N	N	N
2	N	N	R
3	N	R	N
4	N	R	R
5	R	N	N
6	R	N	R
7	R	R	N
8	R	R	R

Nous admettrons, conformément à ce qui a été dit plus haut, que la première combinaison ( $\alpha N$ ,  $\beta N$ ,  $\gamma N$ ) est toujours possible, c'est-à-dire que les positions normales des trois leviers ont été, par convention, choisies de telle sorte qu'elles soient compatibles entre elles, autrement dit que les trois leviers puissent s'y trouver simultanément placés.

En outre, il devra être entendu, ainsi qu'il a été déjà dit, que jusqu'à indication contraire, la position normale de chaque levier sera sa position droite et que, par conséquent, dans nos croquis, la barre d'enclenchement est à fond de course du côté gauche.

La combinaison ( $\alpha N$ ,  $\beta N$ ,  $\gamma N$ ) étant toujours possible, les sept autres combinaisons peuvent être regardées comme se réduisant aux trois suivantes :

- 1° Un des leviers est renversé, et les deux autres sont normaux ;
- 2° Deux des leviers sont renversés, et le troisième est normal ;
- 3° Les trois leviers sont renversés.

Les enclenchements ternaires peuvent être réalisés, dans le système Vignier qui nous sert de type, en conjuguant deux des trois barres,  $\beta$  et  $\gamma$  par exemple, au moyen d'un balancier menant une barre auxiliaire d'enclenchement, ainsi que l'indique la *fig. 6*.

Les enclenchements obtenus en conjuguant ensemble deux barres, menant par un balancier une barre auxiliaire percée de trous, constituent ce que nous appellerons les enclenchements de la première série.

Nous étudierons ensuite une deuxième série d'enclenchements obtenus en conjuguant ensemble, au moyen d'un balancier, deux barres qui mènent une tringle munie d'un verrou.

Les barres d'enclenchement  $mm'$ ,  $nn'$ , menées par les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  (*fig. 6*), sont articulées, avec le jeu

nécessaire, aux extrémités du balancier  $m'n'$ , lequel mène, par son milieu, une barre d'enclenchement auxiliaire  $ll'$ , articulée au balancier et maintenue parallèle aux deux barres  $mm'$  et  $nn'$ .

Le levier  $\alpha$  mène par l'intermédiaire de la barre d'enclenchement à laquelle il est relié, et au moyen d'un retour d'équerre, une tringle d'enclenchement  $aa'$  portant un verrou  $v$  qui peut s'engager dans des trous pratiqués dans la barre auxiliaire  $ll'$ .

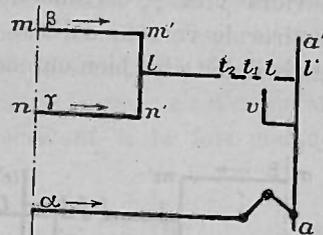


FIG. 6.

Un point quelconque de cette barre auxiliaire pourra occuper trois positions, suivant que les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  seront normaux, que l'un d'eux seulement sera renversé, ou qu'ils le seront tous les deux. D'une manière générale, il n'y aura donc à établir de trous dans la barre  $ll'$  qu'aux trois points  $t_1$ ,  $t_2$ , de cette barre, qui peuvent venir se placer en face du verrou  $v$ , chacun de ces trous étant séparé, de centre à centre, du trou voisin par une distance égale à la moitié de la course d'une barre d'enclenchement principale. On reconnaît, en effet, facilement que, lorsqu'on renverse seulement le levier  $\beta$ , la barre  $mm'$  articulée à ce levier fait une course entière de gauche à droite, mais que la barre auxiliaire  $ll'$  ne fait qu'une demi-course.

Si le verrou ne pouvait occuper sur la tringle d'enclenchement  $aa'$  que la position indiquée par la *fig. 6*, on voit qu'il ne serait jamais engagé qu'autant que le levier  $\alpha$  serait renversé ; mais on peut lui donner la position inverse  $v'$  indiquée dans la *fig. 7* ; alors il ne sera engagé que lorsque  $\alpha$  sera normal, et il sera dégagé quand  $\alpha$  sera renversé.

Il y aura lieu, en outre, de considérer les cas où deux

des trous  $t, t_1, t_2$ , sont réunis par des ouvertures allongées permettant à la barre auxiliaire  $ll'$ , et par suite aux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , certains mouvements, sans que l'on ait à retirer le verrou, s'il est engagé dans cette ouverture ; mais il doit être bien entendu qu'on ne doit jamais manœuvrer qu'un seul levier à la fois.

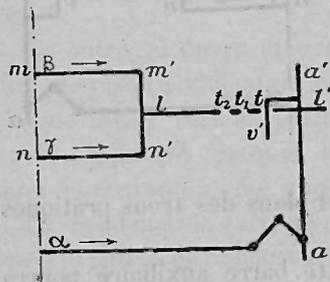


FIG. 7.

Nous aurons à examiner les différents cas d'enclenchements que l'on peut résoudre au moyen des dispositions ci-dessus indiquées, et on voit qu'ils peuvent constituer deux groupes, suivant que le verrou que porte la tringle d'enclenchement  $aa'$  est placé sur cette tringle dans la position  $v$  qu'indique la *fig. 6* ou dans la position  $v'$  qu'indique la *fig. 7*.

19. — Nous ferons connaître, au fur et à mesure que l'occasion s'en présentera, certains termes qui servent à désigner les enclenchements entre plusieurs leviers, autrement dit les diverses formes sous lesquelles on peut les présenter ou les énoncer ; mais, dès à présent, il est utile de définir les enclenchements que l'on appelle conditionnels.

Il peut arriver que certains leviers  $\gamma, \delta, \varepsilon$ , etc., s'enclenchent, c'est-à-dire aient leurs positions dépendantes les unes des autres, quand d'autres leviers  $\alpha, \beta$ , etc., occupent des positions déterminées, et que, lorsqu'un ou plusieurs de ces derniers leviers occupent une position inverse, les leviers  $\gamma, \delta, \varepsilon$ , ne s'enclenchent plus, autrement dit qu'il n'y ait aucune dépendance entre leurs positions. Tels sont les enclenchements que l'on nomme *conditionnels*.

Prenons un exemple : si  $\alpha$  est normal,  $\beta$  et  $\gamma$  pourront

s'enclencher entre eux, c'est-à-dire être reliés, par exemple, par la relation  $\frac{\beta R}{\gamma N}$  ou  $\frac{\beta R}{\gamma R}$  ; mais ces derniers enclenchements entre  $\beta$  et  $\gamma$ , qui, dans l'espèce, sont des enclenchements de forme binaire simple, disparaissent quand  $\alpha$  est renversé, et alors les leviers  $\beta$  et  $\gamma$  deviennent complètement indépendants l'un de l'autre ; c'est ce qu'on représente comme suit, en écrivant à la fois chaque enclenchement et sa réciproque :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}.$$

Si  $\alpha$  est renversé,  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent plus, ce qu'on exprime symboliquement par la formule  $\beta = \gamma$ .

On écrirait de même :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\beta N}.$$

$$\text{Si } \alpha R : \beta = \gamma.$$

Il arrive parfois, comme on le verra, qu'un enclenchement conditionnel, au lieu de disparaître entièrement avec la condition à laquelle il est subordonné, se transforme, quand cette condition cesse d'être remplie, en un enclenchement binaire double ; on pourrait appeler ces sortes d'enclenchements, sur lesquels il serait peu clair d'insister davantage pour le moment, des enclenchements incomplètement conditionnels, ou des enclenchements conditionnels incomplets.

#### Première série. — Premier groupe.

20. — Les enclenchements que nous comprenons dans ce premier groupe correspondent aux dispositions indiquées sur la *fig. 6* et ont pour caractère commun que le verrou  $v$ , porté par la tringle d'enclenchement que mène

le levier  $\alpha$ , ne peut être engagé dans un trou de la barre auxiliaire d'enclenchement  $ll'$  qu'autant que  $\alpha$  est renversé.

Il résulte de là que, si  $\alpha$  est normal,  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent pas ( $\beta = \gamma$ ) ou, autrement dit, que les combinaisons où  $\alpha$  est normal, c'est-à-dire les quatre premières combinaisons ci-dessus indiquées, sont toujours possibles, qu'enfin il ne peut y avoir de combinaisons exclues que parmi les quatre dernières, où  $\alpha$  est supposé renversé.

Or, dans ces conditions, nous avons plusieurs cas à considérer, suivant que la barre auxiliaire  $ll'$  porte un, deux ou trois trous susceptibles de venir se placer en face du verrou  $v$ , sans compter les cas où deux de ces trous sont réunis l'un à l'autre par une ouverture allongée et continue; nous devons nous rappeler que, dans tous les cas du premier groupe, il ne peut y avoir de combinaisons exclues que parmi les quatre suivantes :

5 <sup>e</sup> combinaison :	$\alpha R,$	$\beta N,$	$\gamma N$
6 <sup>e</sup> —	$\alpha R,$	$\beta N,$	$\gamma R$
7 <sup>e</sup> —	$\alpha R,$	$\beta R,$	$\gamma N$
8 <sup>e</sup> —	$\alpha R,$	$\beta R,$	$\gamma R.$

21. *Premier cas.* — La barre auxiliaire d'enclenchement  $ll'$  ne porte que le trou  $t$ , qui se place en face du verrou  $v$  quand  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux (fig. 8).

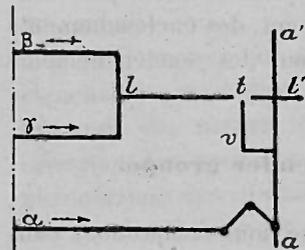


Fig. 8.

Des quatre combinaisons où l'on a  $\alpha R$ , une seule est possible, les trois autres sont exclues, savoir :

$\alpha R,$	$\beta N,$	$\gamma R$
$\alpha R,$	$\beta R,$	$\gamma N$
$\alpha R,$	$\beta R,$	$\gamma R.$

L'enclenchement obtenu peut être représenté par la

formule

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha N}.$$

Mais il équivaut, en réalité, aux deux enclenchements binaires simples

$$\frac{\alpha R}{\beta N} \quad \text{et} \quad \frac{\alpha R}{\gamma N},$$

dont les réciproques sont respectivement :

$$\frac{\beta R}{\alpha N} \quad \text{et} \quad \frac{\gamma R}{\alpha N}.$$

Ces deux enclenchements binaires simples pourraient être réalisés isolément, sans balancier, sans barre d'enclenchement auxiliaire, et sans addition de nouveau levier, ainsi que l'indique la fig. 9, en plaçant sur la tringle  $aa'$  deux verrous  $v$  et  $v'$  pouvant s'engager dans des trous  $t$  et  $t'$  des barres d'enclenchement  $\beta$  et  $\gamma$ , quand ces barres sont dans leurs positions normales.

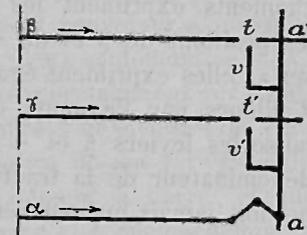


Fig. 9.

Ce premier cas d'enclenchement ternaire n'est donc guère à retenir, puisqu'il ne fournit pas de combinaison qu'on ne puisse obtenir, sans addition de leviers, par des enclenchements binaires simples ordinaires.

22. *Deuxième cas.* — La barre auxiliaire d'enclenchement  $ll'$  ne porte que le trou  $t_1$ , qui se place en face du verrou  $v$ , quand la barre  $ll'$  a avancé d'une demi-course

vers la droite, ce qui a lieu quand on a renversé l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , mais l'un d'eux seulement (fig. 10).

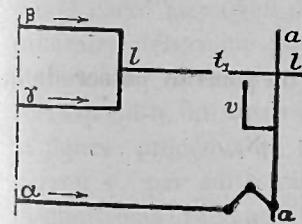


Fig. 10.

C'est seulement, en effet, dans les conditions qui viennent d'être indiquées que  $\alpha$  peut être renversé, et, par conséquent, sur les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$ , deux sont exclues, savoir :

$$\begin{array}{l} \alpha R, \beta N, \gamma N \\ \alpha R, \beta R, \gamma R. \end{array}$$

Ce qui revient aux deux enclenchements ternaires suivants :

$$\begin{array}{l} 1^\circ \quad \frac{\alpha R}{\beta R \text{ ou } \gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ et } \gamma N}{\alpha N}; \\ 2^\circ \quad \frac{\alpha R}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha N}. \end{array}$$

Les deux formules symboliques représentant les enclenchements expriment les conditions que doivent remplir les positions de  $\beta$  et de  $\gamma$ , pour que l'on puisse renverser  $\alpha$ ; elles expriment également, ainsi qu'on le reconnaît d'ailleurs par l'examen de la *fig.* 10, que  $\alpha R$  immobilise les leviers  $\beta$  et  $\gamma$  dans les positions indiquées au dénominateur de la fraction, puisqu'il est entendu qu'on ne doit jamais manœuvrer qu'un seul levier à la fois.

On pourrait remarquer encore que les dispositions considérées réalisent l'enclenchement :

$$\begin{array}{l} \text{Si } \alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}; \\ \text{Si } \alpha N : \beta = \gamma; \end{array}$$

mais il faut remarquer que l'on ne pourrait passer de la combinaison

$$\alpha R, \quad \beta R, \quad \gamma N,$$

à la combinaison

$$\alpha R, \quad \beta N, \quad \gamma R,$$

qu'en retirant le verrou  $v$ , c'est-à-dire en ramenant  $\alpha$  normal; que d'ailleurs on ne peut pas établir directement

la condition  $\alpha R$ , en partant de la position initiale où tous les leviers sont normaux, puisque, pour l'obtenir, il faut avoir d'abord renversé l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ . Ce n'est pas là un véritable enclenchement conditionnel, tel qu'on l'entend et tel que nous en montrerons tout à l'heure la réalisation, dans lequel,  $\alpha$  étant maintenu renversé, on peut passer de la relation  $\frac{\beta R}{\gamma N}$  à la relation réciproque  $\frac{\gamma R}{\beta N}$ .

On peut envisager autrement l'enclenchement qui résulte des dispositions du deuxième cas que nous examinons, en l'énonçant comme suit :

$\alpha$  est dégagé de sa position normale par  $\beta$  renversé ou par  $\gamma$  renversé.

Ce qui veut dire que l'on ne peut renverser  $\alpha$  qu'après avoir renversé  $\beta$  ou  $\gamma$ , mais l'un d'eux seulement.

C'est le cas d'un signal carré normalement à l'arrêt, muni de deux leviers de manœuvre  $\beta$  et  $\gamma$ , que l'on peut ouvrir en renversant l'un ou l'autre de ses leviers; ledit carré précédé d'un disque normalement à l'arrêt et que l'on ouvre en renversant le levier  $\alpha$ . L'enclenchement a pour but d'obliger à ouvrir le signal carré par l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , avant que l'on puisse ouvrir le disque au moyen de son levier  $\alpha$ ; mais si, après avoir ouvert le signal carré au moyen d'un levier  $\beta$ , qui correspond à un itinéraire déterminé pour un train survenant, on voulait obtenir l'ouverture du même signal par son levier  $\gamma$  qui correspond à un autre itinéraire, on voit, en examinant la figure précédente, qu'il faudrait d'abord retirer le verrou  $v$ , par suite ramener  $\alpha$  normal et refermer le disque, puis ramener aussi  $\beta$  normal, par conséquent refermer le signal carré, après quoi seulement on pourrait rouvrir ce signal en renversant le levier  $\gamma$ , puis le disque en renversant le levier  $\alpha$ .

De cette façon le signal carré ne se trouverait jamais à l'arrêt sans que le disque qui le précède y soit lui-même placé, condition essentielle pour la sécurité.

23. *Troisième cas.* — La barre auxiliaire d'enclenchement  $ll'$  ne porte que le trou  $t_2$ , qui se place devant le verrou  $v$ , quand la barre  $ll'$  a fait une course entière vers la droite, ce qui arrive quand on a renversé les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ .

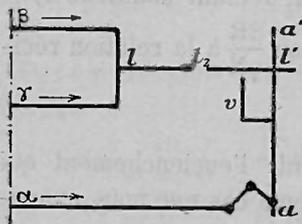


FIG. 11.

Il résulte de ces dispositions, indiquées dans la fig. 11, que des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$  une

seule est possible; les trois autres sont exclues, savoir :

$$\begin{array}{lll} \alpha R, & \beta N, & \gamma N \\ \alpha R, & \beta N, & \gamma R \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N. \end{array}$$

Puisqu'on ne peut renverser  $\alpha$  qu'après avoir renversé  $\beta$  et  $\gamma$ , cet enclenchement ternaire peut être représenté par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ et } \gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ ou } \gamma N}{\alpha N};$$

mais il revient en réalité à deux enclenchements binaires simples

$$\frac{\alpha R}{\beta R} \text{ et } \frac{\alpha R}{\gamma R};$$

dont les réciproques sont respectivement

$$\frac{\beta N}{\alpha N} \text{ et } \frac{\gamma N}{\alpha N};$$

qui peuvent être obtenus sans conjugaison des leviers  $\beta$

et  $\gamma$ , c'est-à-dire sans emploi de balancier et sans addition de leviers, ainsi que l'indique la fig. 12.

Donc le cas que nous examinons, tout comme le premier, n'est guère à retenir parmi les enclenchements ternaires, puisqu'il peut être réalisé par des enclenchements binaires simples.

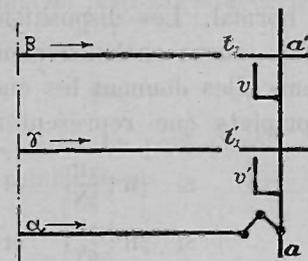


FIG. 12.

24. — Nous avons maintenant à examiner les enclenchements que l'on peut obtenir quand la barre auxiliaire d'enclenchement  $ll'$  présente plusieurs trous pouvant venir se placer devant le verrou  $v$  que porte la tringle d'enclenchement menée par le levier  $\alpha$ .

25. *Quatrième cas.* — La barre auxiliaire d'enclenchement  $ll'$  présente deux trous  $t$  et  $t_1$ , dont le premier se place en face du verrou  $v$ , quand  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux, et le second prend la même position, quand l'un seulement de ces leviers a été renversé et que, par suite, la barre  $ll'$  a avancé d'une demi-course vers la droite (fig. 13).

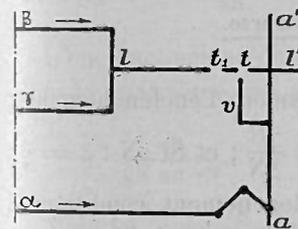


FIG. 13.

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$ , la suivante :  $\alpha R, \beta R, \gamma R$ , est seule exclue.

On peut représenter l'enclenchement qui correspond aux dispositions considérées par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha N}.$$

S'il reste trois combinaisons possibles avec  $\alpha R$ , il convient de remarquer que l'on ne pourrait passer de l'une à

l'autre sans retirer le verrou  $v$ , c'est-à-dire sans ramener  $\alpha$  normal. Les dispositions examinées ne donnent, par suite, aucun enclenchement conditionnel proprement dit, mais elles donnent les enclenchements conditionnels incomplets que représentent les formules suivantes :

Si  $\gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ ;

Si  $\beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\alpha N}$ ;

et, lorsque les conditions précédentes disparaissent, les enclenchements que nous venons d'indiquer se transforment dans les suivants :

Si  $\gamma N : \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}$ ; Si  $\beta N : \frac{\alpha R}{\gamma N \text{ et } \gamma R}$ ,

c'est-à-dire des enclenchements de la forme binaire double conditionnelle, dont la réciproque commune peut s'écrire

$$\frac{\beta \text{ et } \gamma \text{ pendant la course}}{\alpha N}$$

Le dispositif examiné donne encore l'enclenchement :

Si  $\alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\beta N}$ ; et Si  $\alpha N : \beta = \gamma$ ;

mais ce n'est pas encore un enclenchement conditionnel proprement dit, puisqu'on ne peut pas passer directement

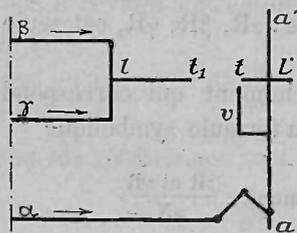


FIG. 14.

inverse l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ . (fig. 14).

de  $\frac{\beta R}{\gamma N}$  à  $\frac{\gamma R}{\beta N}$  sans retirer momentanément le verrou  $v$ .

26. Cinquième cas. — Les deux trous  $t$  et  $t_1$  du cas précédent sont réunis par une ouverture continue dans laquelle le verrou  $v$  peut rester engagé pendant que l'on ren-

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$  une seule est exclue, savoir :

$$\alpha R, \quad \beta R, \quad \gamma R,$$

comme dans le cas précédent ; mais on peut passer de l'une à l'autre des trois autres combinaisons

$$\begin{matrix} \alpha R, & \beta N, & \gamma N, \\ \alpha R, & \beta N, & \gamma R, \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N, \end{matrix}$$

sans avoir à retirer le verrou  $v$  de l'ouverture  $u$ , et, par conséquent, sans avoir à ramener  $\alpha$  normal, ce qui montre qu'on ne définit pas complètement un enclenchement en indiquant seulement les combinaisons qu'il rend impossibles, puisque, dans le cas que nous examinons, comme dans le précédent, la combinaison exclue est

$$\alpha R, \quad \beta R, \quad \gamma R.$$

L'enclenchement obtenu peut être représenté, comme dans le quatrième cas, par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ ou } \gamma N} \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha N}.$$

Mais ici, comme on vient de le dire, on peut passer de l'une à l'autre des trois combinaisons où  $\alpha$  est renversé et que n'exclut pas cette formule, sans être obligé de retirer le verrou  $v$ . La différence entre les deux cas apparaît d'ailleurs nettement quand on considère les enclenchements sous la forme conditionnelle : on a bien encore les relations

Si  $\gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ ;

Si  $\beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\alpha N}$ .

Mais, si  $\gamma$  est normal,  $\alpha$  et  $\beta$  ne s'enclenchent plus, ce

qui s'écrit

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

De même, si  $\beta$  est normal,  $\alpha$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent plus, ce qui s'écrit

$$\text{Si } \beta N : \alpha = \gamma;$$

tandis que, dans le cas précédent, il restait un enclenchement de forme binaire double entre  $\alpha$  et  $\beta$ , quand  $\gamma$  était normal, et aussi un enclenchement de même nature entre  $\alpha$  et  $\gamma$ , quand  $\beta$  était normal.

Le dispositif du cas examiné donne d'ailleurs aussi l'enclenchement conditionnel proprement dit

$$\text{Si } \alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N},$$

et

$$\text{Si } \alpha N : \beta = \gamma.$$

Enfin nous croyons devoir faire remarquer que les enclenchements conditionnels précédents sont la conséquence l'un de l'autre, attendu que tous expriment que les trois leviers ne peuvent être renversés en même temps, ce qui résulte de ce que la combinaison  $\alpha R, \beta R, \gamma R$  est exclue.

27. Sixième cas. — La barre auxiliaire d'enclenchement  $l'$  présente deux trous  $t_1$  et  $t_2$ , dont le premier vient se placer en face d'un verrou  $v$ , quand l'un seulement des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est renversé, et le second prend la même position, quand ces deux leviers sont à la fois renversés (fig. 15).

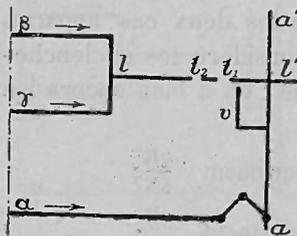


Fig. 15.

Dans ce cas, des quatre combinaisons que l'on peut

faire avec  $\alpha R$ , la suivante seule est exclue :

$$\alpha R, \quad \beta N, \quad \gamma N.$$

Cet enclenchement peut se représenter par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ ou } \gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ et } \gamma N}{\alpha N}.$$

Il faut remarquer que, s'il reste avec  $\alpha R$ , trois combinaisons possibles

$$\begin{array}{ccc} \alpha R, & \beta N, & \gamma R, \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N, \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma R; \end{array}$$

on ne peut passer de l'une à l'autre sans retirer le verrou  $v$ , c'est-à-dire sans ramener  $\alpha$  normal. Les dispositions examinées ne donnent aucun enclenchement conditionnel proprement dit, mais elles donnent les enclenchements conditionnels incomplets suivants :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha N};$$

$$\text{Si } \beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha N};$$

auxquels correspondent, quand les conditions précédentes cessent d'être remplies, les enclenchements ternaires de forme binaire double conditionnelle :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}; \quad \text{Si } \beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N \text{ et } \gamma R};$$

dont la réciproque commune peut s'écrire

$$\frac{\beta \text{ et } \gamma \text{ pendant leur course}}{\alpha N}.$$

28. Septième cas. — Les deux trous  $t_1$  et  $t_2$  du cas précédent sont réunis par une ouverture continue dans

laquelle le verrou  $v$  peut rester engagé, pendant que, l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  étant déjà renversé, on renverse l'autre (fig. 16).

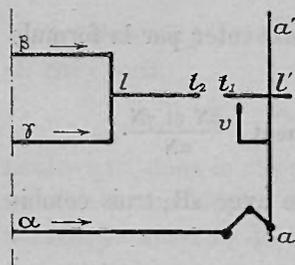


FIG. 16.

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha$  renversé, la suivante :

$$\alpha R, \quad \beta N, \quad \gamma N,$$

sera seule exclue, comme dans le cas précédent ; mais ici on pourra passer de l'une à l'autre

des trois autres combinaisons

$$\begin{array}{ccc} \alpha R, & \beta N, & \gamma R \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma R, \end{array}$$

sans avoir à retirer le verrou  $v$  de l'ouverture  $t_1 t_2$ , et sans avoir à ramener  $\alpha$  normal.

La seule combinaison exclue étant

$$\alpha R, \quad \beta N, \quad \gamma N,$$

l'enclenchement obtenu peut être représenté, comme dans le cas précédent, par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ ou } \gamma R}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta N \text{ et } \gamma N}{\alpha N}$$

La différence avec le cas précédent est, comme nous venons de le dire, que l'on pourra passer de l'une à l'autre des combinaisons où  $\alpha$  est renversé et que n'exclut pas cette formule, sans être obligé de retirer le verrou  $v$ . Cette différence apparaît encore quand on considère les enclenchements sous la forme conditionnelle ; on a bien

encore les relations :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\beta N}{\alpha N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\alpha R}{\beta R},$$

$$\text{Si } \beta N : \frac{\gamma N}{\alpha N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\alpha R}{\gamma R};$$

mais, si  $\gamma$  est renversé,  $\alpha$  et  $\beta$  ne s'enclenchent plus, ce qui s'écrit :

$$\text{Si } \gamma R : \alpha = \beta.$$

De même, si  $\beta$  est renversé,  $\alpha$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent plus, ce qui s'écrit :

$$\text{Si } \beta R : \alpha = \gamma,$$

tandis que, dans le cas précédent, il restait un enclenchement de la forme binaire double entre  $\alpha$  et  $\beta$ , quand  $\gamma$  était renversé, et un enclenchement de même nature entre  $\beta$  et  $\gamma$ , quand  $\beta$  était renversé.

Les deux enclenchements conditionnels qui précèdent sont d'ailleurs la conséquence l'un de l'autre, attendu qu'ils expriment en réalité que  $\alpha$  ne peut être renversé, sans que l'un au moins des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  soit lui-même renversé.

29. Huitième cas. — La barre auxiliaire d'enclenchement  $l'$  présente deux trous  $t$  et  $t_2$ , dont le premier vient se placer en face du verrou  $v$  quand les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux, et le second quand ces deux leviers sont renversés (fig. 17).

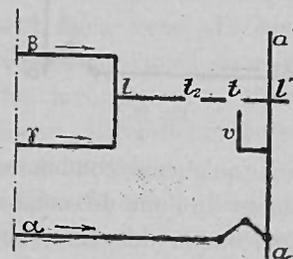


FIG. 17.

Sur les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha$  renversé, les deux suivantes seules sont exclues

$$\begin{array}{ccc} \alpha R, & \beta N, & \gamma R \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N, \end{array}$$

ce qui revient à dire qu'on ne peut renverser  $\alpha$  quand, des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , l'un est normal et l'autre renversé; on a donc les deux enclenchements ternaires

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha N},$$

et

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ et } \gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ ou } \gamma N}{\alpha N}.$$

Il n'y a pas à examiner le cas où les deux trous  $t$  et  $t_1$ , dont la distance est égale à une course entière de la barre auxiliaire  $l'$  seraient réunis par une ouverture continue, car alors il n'y aurait plus aucun enclenchement entre les trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

30. Neuvième cas. — La barre auxiliaire d'enclenchement porte à la fois les trois trous  $t$ ,  $t_1$  et  $t_2$  qui viennent se placer respectivement en face du verrou  $v$ , quand les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux, quand l'un d'eux seulement est renversé et quand ils sont renversés tous les deux (fig. 18).

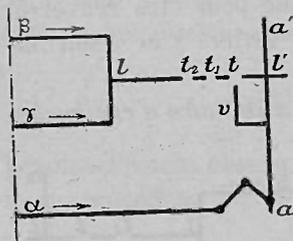


FIG. 18.

Ici les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$  sont toutes possibles; il est bien entendu que toutes les combinaisons qui comportent  $\alpha N$  sont aussi toutes possibles, de

sorte qu'aucune combinaison n'est interdite; mais on ne peut passer de l'une des combinaisons où  $\alpha$  est renversé à l'une quelconque des trois autres, sans retirer le verrou  $v$ , c'est-à-dire sans ramener  $\alpha$  normal; on a par suite les deux enclenchements binaires doubles

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}, \quad \frac{\alpha R}{\gamma N \text{ et } \gamma R}.$$

dont la réciproque peut s'écrire

$$\frac{\beta \text{ et } \gamma \text{ pendant leur course}}{\alpha N}.$$

Mais ces enclenchements binaires doubles ne peuvent être envisagés comme ayant aucun caractère conditionnel, contrairement à ce qui se présente dans les quatrième et sixième cas, attendu qu'ils existent séparément dans toutes les circonstances, d'une part entre  $\alpha$  et  $\beta$ , et d'autre part entre  $\alpha$  et  $\gamma$ ; aussi pourraient-ils être réalisés directement sans emploi de balancier et addition de levier au moyen du dispositif de la fig. 19.

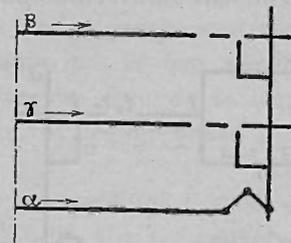


FIG. 19.

31. Dixième cas. — Les deux trous  $t$  et  $t_1$  du cas précédent sont réunis par une ouverture continue dans laquelle le verrou  $v$  peut rester engagé pendant que l'on renverse l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , l'autre restant normal (fig. 20).

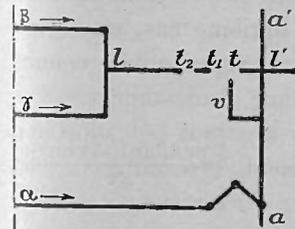


FIG. 20.

Les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$  sont encore possibles; mais, de plus, l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  étant

normal, on peut renverser l'autre sans retirer le verrou  $v$ , s'il est engagé, c'est-à-dire si  $\alpha$  est renversé.

Nous avons ici les mêmes enclenchements binaires doubles que dans le cas précédent; mais ils prennent un caractère conditionnel et peuvent être représentés comme suit:

$$1^{\circ} \text{ Si } \gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha N};$$

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta;$$

- 2° Si  $\beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N \text{ et } \gamma R}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma \text{ pendant sa course}}{\alpha N}$ ;  
Si  $\beta N : \alpha = \gamma$ .

32. Onzième cas. — Les deux trous  $t_1$  et  $t_2$  du neuvième cas sont réunis par une ouverture continue, dans laquelle le verrou  $v$  peut rester engagé lorsque, l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  étant déjà renversé, on renverse le second (fig. 21).

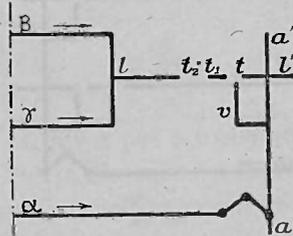


FIG. 21.

Dans ce cas encore, les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$  sont possibles, et, de plus, si l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est déjà renversé, on peut renverser l'autre, sans retirer le verrou  $v$ , s'il est engagé, c'est-à-dire si  $\alpha$  est renversé.

Nous avons encore ici les mêmes enclenchements binaires doubles que dans les neuvième et dixième cas; mais ils prennent, comme dans le dixième cas, un caractère conditionnel et peuvent être représentés comme suit:

- 1° Si  $\gamma N : \frac{\alpha R}{\beta N \text{ ou } \beta R}$ , et réciproquement  $\frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha N}$ ;  
Si  $\gamma R : \alpha = \beta$ ;  
2° Si  $\beta N : \frac{\alpha R}{\gamma N \text{ ou } \gamma R}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma \text{ pendant sa course}}{\alpha N}$ ;  
Si  $\beta R : \alpha = \gamma$ .

Nous avons déjà dit qu'il n'y avait pas à envisager le cas où les deux trous  $t$  et  $t_2$  seraient réunis par une ouverture continue, puisqu'alors il n'y aurait plus aucun enclenchement entre les trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

### Première série. — Deuxième groupe.

33. — Ainsi que nous l'avons précédemment indiqué, § 18, les enclenchements de ce second groupe sont ceux où le verrou  $v'$  porté par la tringle  $aa'$ , et que mène le levier  $\alpha$ , est toujours engagé dans un trou de la barre auxiliaire  $ll'$ , quand  $\alpha$  est normal, et dégagé quand  $\alpha$  est renversé (voir fig. 7).

Les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha R$  sont toujours possibles; autrement dit, si  $\alpha$  est renversé,  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent pas. Il ne peut donc y avoir de combinaisons exclues que parmi celles où  $\alpha$  est normal, par conséquent parmi les quatre combinaisons ci-après:

$\alpha N$ ,	$\beta N$ ,	$\gamma N$
$\alpha N$ ,	$\beta N$ ,	$\gamma R$
$\alpha N$ ,	$\beta R$ ,	$\gamma N$
$\alpha N$ ,	$\beta R$ ,	$\gamma R$ .

Nous admettons que la première de ces quatre combinaisons est toujours possible, et qu'en conséquence la barre auxiliaire  $ll'$  porte toujours un trou  $t$ , qui se trouve en face du verrou  $v'$ , quand  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux, et dans lequel ce verrou sera engagé, si  $\alpha$  est normal.

En dehors du trou  $t$  dont il vient d'être parlé, la barre auxiliaire peut en présenter deux autres,  $t_1$  et  $t_2$ , venant respectivement se placer devant le verrou  $v$ , selon que l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  seulement est renversé, ou que ces deux leviers sont renversés à la fois (voir la fig. 7).

Selon que l'un ou l'autre des trous  $t_1$  et  $t_2$  existeront ou n'existeront pas, nous aurons différents cas d'enclenchement que nous allons passer en revue.

34. Premier cas. — La barre d'enclenchement auxi-

liaire  $l'$  ne porte que le trou  $t$  dans lequel le verrou  $v'$  peut s'engager quand  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux.

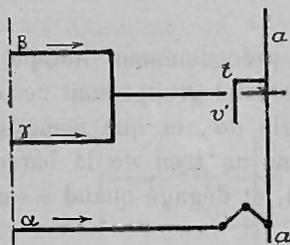


Fig. 22.

Cet enclenchement est représenté par le dispositif qu'indique la fig. 22.

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$ , la suivante :

$$\alpha N, \quad \beta N, \quad \gamma N,$$

est seule possible ; sont au contraire exclues les combinaisons ci-après :

$$\begin{array}{lll} \alpha N, & \beta R, & \gamma R, \\ \alpha N, & \beta R, & \gamma N, \\ \alpha N, & \beta R, & \gamma R. \end{array}$$

L'enclenchement ternaire considéré peut être représenté par la formule symbolique

$$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha R}.$$

Il équivaut en réalité aux deux enclenchements binaires simples

$$\begin{array}{l} 1^\circ \frac{\alpha N}{\beta N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta R}{\alpha R}; \\ 2^\circ \frac{\alpha N}{\gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\gamma R}{\alpha R}. \end{array}$$

Il peut donc être réalisé sans emploi de balancier et de barre auxiliaire d'enclenchement et sans addition de levier nouveau, au moyen du dispositif indiqué par la fig. 23.

Ce cas n'est donc guère à compter parmi les enclen-

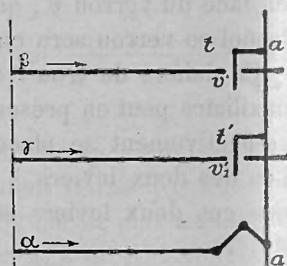


Fig. 23.

chements ternaires, puisqu'il peut être réalisé au moyen de deux enclenchements binaires simples.

35. Deuxième cas. — La barre auxiliaire d'enclenchement  $l'$  porte, en outre du trou  $t$ , un second trou  $t_1$ , qui vient se placer en face du verrou  $v'$ , quand l'un ou l'autre des leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , mais l'un d'eux seulement, est renversé (fig. 24).

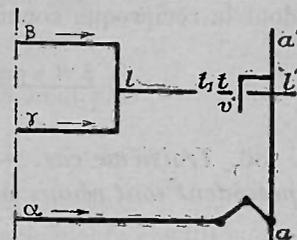


Fig. 24.

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$ , il n'y a que la suivante :

$$\alpha N, \quad \beta R, \quad \gamma R,$$

qui soit exclue.

L'enclenchement considéré peut donc être représenté par la formule

$$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha R}.$$

Il équivaut aux deux enclenchements conditionnels incomplets suivants :

$$\begin{array}{l} \text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta R}{\alpha R}; \\ \text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\gamma R}{\alpha R}. \end{array}$$

Ces enclenchements sont des enclenchements conditionnels incomplets, parce qu'ils ne disparaissent pas quand  $\beta$  ou  $\gamma$  sont normaux. En effet, on ne peut passer de l'une à l'autre des trois combinaisons qui restent possibles avec  $\alpha N$  sans retirer le verrou  $v'$ , et par conséquent sans renverser  $\alpha$ ; il reste, quand  $\beta$  ou  $\gamma$  sont normaux,

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \beta R}; \quad \text{si } \beta N : \frac{\alpha N}{\gamma N \text{ et } \gamma R},$$

dont la réciproque commune peut s'écrire

$$\frac{\beta \text{ et } \gamma \text{ pendant leur course}}{\alpha R}$$

36. *Troisième cas.* — Les deux trous  $t$  et  $t_1$  du cas précédent sont réunis par une ouverture continue dans laquelle le verrou  $v'$  peut rester engagé quand on renverse l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  (fig. 25).

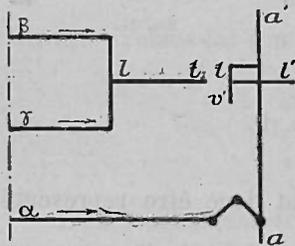


Fig. 25.

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$ , la suivante :

$$\alpha N, \quad \beta R, \quad \gamma R,$$

est seule exclue, comme dans le cas précédent; mais dans le cas actuel on peut passer de l'une à l'autre des trois combinaisons

$$\begin{array}{ccc} \alpha N, & \beta N, & \gamma N, \\ \alpha N, & \beta N, & \gamma R, \\ \alpha N, & \beta R, & \gamma N, \end{array}$$

sans avoir à retirer le verrou  $v'$  de l'ouverture  $tt_1$  et, par conséquent, sans renverser  $\alpha$ .

L'enclenchement obtenu peut être représenté, comme dans le cas précédent, par la formule

$$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha R}$$

On peut exprimer les relations contenues dans cette

formule sous la forme conditionnelle :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta R}{\alpha R},$$

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\gamma R}{\alpha R};$$

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta,$$

c'est-à-dire que  $\alpha$  et  $\beta$  ne s'enclenchent plus;

$$\text{Si } \beta N : \alpha = \beta,$$

c'est-à-dire que  $\alpha$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent plus.

Nous avons donc ici des enclenchements conditionnels proprement dits, tandis que, dans le cas précédent, il restait un enclenchement de forme binaire double entre  $\alpha$  et  $\beta$ , quand  $\gamma$  est normal, et un enclenchement de même nature entre  $\alpha$  et  $\gamma$ , quand  $\beta$  est normal.

Nous ferons remarquer encore que les deux enclenchements conditionnels précédents sont la conséquence l'un de l'autre, attendu qu'ils expriment l'un et l'autre que  $\alpha$ , étant normal,  $\beta$  et  $\gamma$  ne peuvent être renversés en même temps, ce qui résulte de ce que la combinaison

$$\alpha N, \quad \beta R, \quad \gamma R,$$

est exclue.

Remarquons que les dispositions que nous examinons donnent aussi l'enclenchement conditionnel proprement dit :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\gamma R}{\beta N};$$

$$\text{Si } \alpha R : \beta = \gamma,$$

c'est-à-dire que  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent plus.

37. *Quatrième cas.* — La barre auxiliaire d'enclenchement  $l'$  présente deux trous  $t$  et  $t_2$  dont le premier vient se placer en face du verrou  $v'$  quand les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux, et le second quand ces deux leviers sont renversés (fig. 26).

Des quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$ , les deux suivantes sont seules exclues :

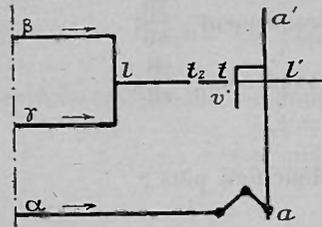


FIG. 26.

$\alpha N, \beta N, \gamma R,$   
 $\alpha N, \beta R, \gamma N,$

ce qui revient à dire que,  $\alpha$  étant renversé, on ne peut le ramener normal, quand l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est

normal et que l'autre est renversé ; on a donc les deux enclenchements ternaires

$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \gamma N}$  et réciproquement  $\frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha R}$ ,

et

$\frac{\alpha N}{\beta R \text{ et } \gamma R}$  et réciproquement  $\frac{\beta N \text{ ou } \gamma N}{\alpha R}$ .

Il n'y a pas lieu, d'ailleurs, d'examiner le cas où les deux trous  $t$  et  $t_2$ , dont la distance est égale à la course de barre auxiliaire  $L'$ , seraient réunis par une ouverture continue ; car alors il n'y aurait plus aucun enclenchement entre les leviers  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$ .

38. Cinquième cas. — La barre auxiliaire d'enclenchement  $L'$  porte à la fois les trois trous  $t, t_1$  et  $t_2$ , qui viennent se placer respectivement en face du verrou  $v'$ , quand les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont normaux, quand l'un d'eux seulement est renversé, et quand ils sont renversés tous les deux (fig. 27).

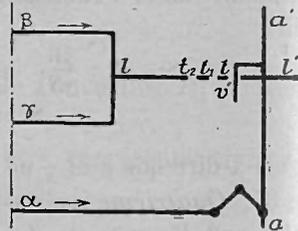


FIG. 27.

Les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$  sont toutes possibles, et, comme les quatre combinaisons

que l'on peut faire avec  $\alpha R$  le sont aussi, il en résulte qu'aucune combinaison n'est exclue ; mais on ne peut passer de l'une à l'autre des quatre combinaisons où  $\alpha$  est normal, sans retirer le verrou  $v'$ , c'est-à-dire sans renverser  $\alpha$ . On a, par suite, les deux enclenchements binaires doubles

$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \beta R}, \quad \frac{\alpha N}{\gamma N \text{ et } \gamma R}$

dont la réciproque commune peut s'écrire

$\frac{\beta \text{ et } \gamma \text{ pendant leur course}}{\alpha R}$ .

Mais ces enclenchements binaires doubles ne peuvent être regardés comme ayant à aucun point de vue un caractère conditionnel, vu qu'ils existent séparément dans toutes les circonstances, d'une part entre  $\alpha$  et  $\beta$ , et d'autre part entre  $\alpha$  et  $\gamma$ . Ils peuvent d'ailleurs être réalisés directement sans emploi de balancier et sans addition de levier, au moyen du dispositif de la fig. 28.

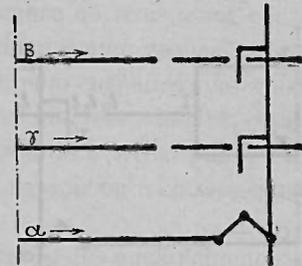


FIG. 28.

39. Sixième cas. — Les deux trous  $t$  et  $t_1$  du cas précédent sont réunis par une ouverture continue dans laquelle le verrou  $v'$  peut rester engagé pendant que l'on renverse l'un des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , l'autre restant normal (fig. 29).

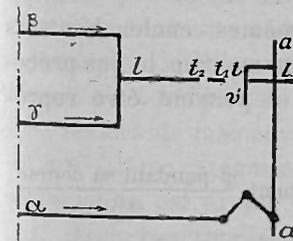


FIG. 29.

Les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$  sont encore possibles ; mais, de plus, l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  étant normal, on peut renverser

l'autre sans retirer le verrou  $v'$ , c'est-à-dire sans être obligé de renverser  $\alpha$ .

Nous avons ici les mêmes enclenchements binaires doubles que dans le cas précédent; mais ils prennent ici un caractère conditionnel et peuvent être représentés comme suit :

- 1° Si  $\gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \beta R}$ , et réciproquement  $\frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha R}$ ;  
 Si  $\gamma N : \alpha = \beta$ ;  
 2° Si  $\beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N \text{ et } \gamma R}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma \text{ pendant sa course}}{\alpha R}$ ;  
 Si  $\beta N : \alpha = \gamma$ .

40. *Septième cas.* — Les deux trous  $t_1$  et  $t_2$  du cinquième cas sont réunis par une ouverture continue, dans laquelle le verrou  $v'$  peut rester engagé, lorsque, l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  étant déjà renversé, on renverse l'autre (fig. 30.)

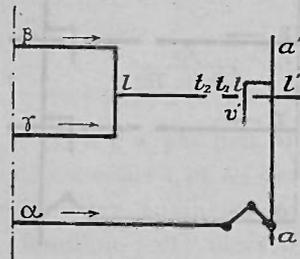


FIG. 30.

Dans ce cas encore, les quatre combinaisons que l'on peut faire avec  $\alpha N$  sont possibles et, de plus, si l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est déjà ren-

versé, on peut renverser l'autre sans retirer le verrou  $v'$ , c'est-à-dire sans renverser  $\alpha$ .

Nous avons encore ici les mêmes enclenchements binaires doubles, qui prennent, comme dans le cas précédent, un caractère conditionnel et peuvent être représentés comme suit :

- 1° Si  $\gamma N : \frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \beta R}$ , et réciproquement  $\frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha R}$ ;  
 Si  $\gamma R : \alpha = \beta$ ;  
 2° Si  $\beta N : \frac{\alpha N}{\gamma N \text{ et } \gamma R}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma \text{ pendant sa course}}{\alpha R}$ ;  
 Si  $\beta R : \alpha = \gamma$ .

Il n'y a pas à envisager, comme nous l'avons déjà dit, le cas où les deux trous  $t_1$  et  $t_2$  sont réunis par une ouverture continue, puisqu'alors il n'y aurait plus aucun enclenchement entre les trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

#### Résumé des dispositifs de la première série.

41. — Essayons maintenant de grouper aussi méthodiquement que possible les dix-huit cas d'enclenchements ternaires que nous venons de décrire; nous pouvons les répartir en quatre catégories.

La première catégorie comprendra les enclenchements qui rendent impossibles ou excluent trois des huit combinaisons que l'on peut imaginer entre les trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ; ces enclenchements, au nombre de trois, sont ceux du premier et du troisième cas du premier groupe et du premier cas du second groupe. Ils peuvent, ainsi que nous l'avons montré, être réalisés par binaires simples, sans emploi de balancier et sans addition de nouveaux leviers; ils ne sont donc pas, à vrai dire, à retenir ou à classer dans les enclenchements ternaires.

La deuxième catégorie sera formée des enclenchements qui excluent deux combinaisons, elle comprend trois cas : le deuxième et le huitième cas du premier groupe et le quatrième cas du second groupe. Ces trois enclenchements ternaires pourraient être résolus aussi, comme nous le montrerons, au moyen d'enclenchements binaires simples, sans emploi de balancier, mais en ajoutant un quatrième levier, c'est-à-dire en munissant l'un des appareils de deux leviers de manœuvre.

La troisième catégorie comprendra six cas, où une seule combinaison est exclue, savoir :

1° Trois cas représentant des enclenchements conditionnels incomplets, c'est-à-dire laissant subsister, quand la condition posée cesse d'être remplie, des enclenche-

ments binaires doubles ; ce sont les quatrième et sixième cas du premier groupe et le deuxième cas du second groupe ;

2° Trois cas représentant des enclenchements conditionnels proprement dits ou complets : ce sont les cinquième et septième cas du premier groupe, et le troisième cas du second groupe.

Nous rappelons que, pour nous, un enclenchement conditionnel ternaire complet doit présenter deux caractères.

En premier lieu, quand la position d'un des leviers, à laquelle est subordonné l'enclenchement des deux autres, cesse d'exister, tout enclenchement entre ces deux derniers leviers disparaît.

En second lieu, le levier dont une des positions détermine la condition de l'enclenchement des deux autres, doit toujours pouvoir être amené le premier dans cette position, en partant des positions normales des trois leviers, sans que l'on ait à manœuvrer préalablement aucun des deux autres, pour les placer dans les positions que l'enclenchement autorise.

La quatrième catégorie comprendra six cas où aucune combinaison n'est exclue, savoir :

1° Deux cas représentant chacun deux enclenchements binaires doubles : le neuvième cas du premier groupe et le cinquième cas du second groupe. Ces enclenchements, comme nous l'avons montré, peuvent être obtenus sans balancier et sans addition de nouveaux leviers.

Il n'y a donc guère lieu de retenir ces cas parmi les enclenchements ternaires ;

2° Quatre cas représentant des enclenchements de forme binaire double conditionnelle, savoir : les dixième et onzième cas du premier groupe, et les sixième et septième cas du second groupe.

### Deuxième série. — Premier groupe.

42. — Jusqu'ici nous n'avons envisagé que des dispositions où les barres d'enclenchement sont seules conjuguées au moyen de balanciers ; on peut de même conjuguer deux triangles d'enclenchement au moyen d'un balancier, qui mène par son milieu une tringle auxiliaire d'enclenchement munie de verrous, ainsi que l'indique la *fig. 31*.

Ici les deux triangles d'enclenchement  $bm$  et  $cm'$ , respectivement conduites par les leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , sont reliées entre elles par un balancier  $mm'$  ; celui-ci mène par son milieu une tringle auxiliaire  $kk'$  qui porte un verrou  $v$  susceptible d'enclencher la barre  $\alpha$ .

On arriverait au même résultat en conjuguant, comme nous l'avons toujours supposé jusqu'ici, les deux barres d'enclenchement  $\beta$  et  $\gamma$ , au moyen du balancier  $mm'$  et en supposant que celui-ci mène, par le moyen d'une barre auxiliaire  $ll'$  et d'un renvoi d'équerre, une tringle auxiliaire  $kk'$ , laquelle porte un verrou  $v$  susceptible d'enclencher la barre  $\alpha$ . C'est cette disposition représentée par la *fig. 32*, et d'ailleurs absolument équivalente à celle de la *fig. 31*, que nous supposons réalisée dans ce qui suit.

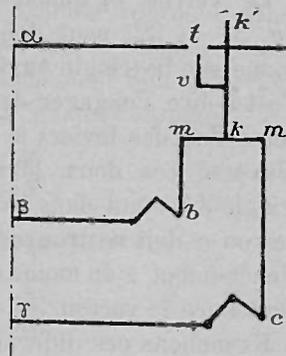


FIG. 31.

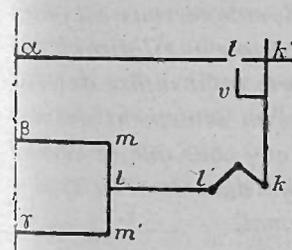


FIG. 32.

Lorsque l'on renverse l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , la tringle  $kk'$  et le verrou  $v$  qu'elle porte font une demi-course; si l'on renverse les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  à la fois, la tringle  $kk'$  et le verrou  $v$  font une course entière; il y a donc pour la tringle et pour le verrou trois positions d'arrêt.

Le verrou  $v$ , quand il est disposé comme dans les *fig. 31* et *32*, peut donc, suivant la position qu'on lui donne sur la tringle auxiliaire  $kk'$ , enclencher la barre  $\alpha$ , c'est-à-dire s'engager dans le trou  $t$ , soit quand on renverse l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , soit seulement quand on a renversé ces deux leviers. Dans ce dernier cas, la tringle  $kk'$  étant dans sa position normale, l'extrémité du verrou  $v$  doit se trouver à une distance de la barre d'enclenchement  $\alpha$  au moins égale à la moitié de la course que peut faire le verrou.

Examinons ces différents cas, en nous occupant d'abord de ceux qui comportent la disposition du verrou indiquée sur les figures précédentes et qui formeront le premier groupe.

43. *Premier cas.* — La barre d'enclenchement  $\alpha$  ne porte qu'un trou  $t$ , qui se trouve en face du verrou  $v$  quand  $\alpha$  est normal, et le verrou  $v$  est placé sur la tringle auxiliaire  $kk'$ , de telle sorte qu'il suffise de renverser l'un seulement des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  pour que ce verrou s'engage dans le trou  $t$ , si  $\alpha$  est normal.

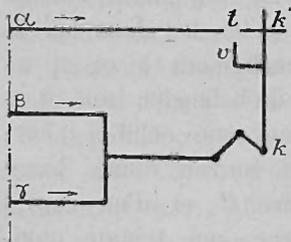


FIG. 33.

Ce cas est représenté par la *fig. 33*.

Il est évident que toutes les combinaisons où  $\alpha$  est normal sont possibles. D'autre part, des quatre combinaisons où l'on aurait  $\alpha$  renversé, une seule :  $\alpha R$ ,  $\beta N$ ,  $\gamma N$ , est possible. Il y a donc trois combinaisons

excluses, savoir :

$$\begin{array}{ccc} \alpha R, & \beta N, & \gamma R, \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N, \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma R, \end{array}$$

et, en effet, dès que l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est renversé, le verrou  $v$  est engagé dans le trou  $t$  de la barre  $\alpha$ , et on ne peut plus renverser  $\alpha$ . Le cas examiné reproduit donc, avec un autre dispositif, le premier cas du premier groupe de la première série, et l'enclenchement obtenu revient encore aux deux enclenchements binaires simples

$$\frac{\alpha R}{\beta N} \quad \text{et} \quad \frac{\alpha R}{\gamma N}$$

dont les réciproques sont respectivement

$$\frac{\beta R}{\alpha N} \quad \text{et} \quad \frac{\gamma R}{\alpha N}$$

Ce cas n'est donc guère à retenir parmi les enclenchements ternaires.

44. *Deuxième cas.* — Les dispositions sont les mêmes que dans le cas précédent, sauf que le verrou  $v$  est placé sur la tringle auxiliaire  $kk'$  de telle sorte qu'il ne puisse être engagé dans le trou  $t$  de la barre  $\alpha$  que lorsque les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux renversés (*fig. 34*).

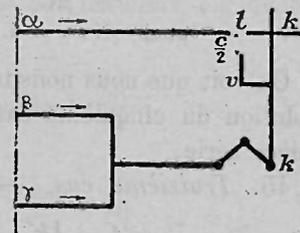


FIG. 34.

Dans ces conditions la pointe du verrou  $v$  se trouve à une distance de la barre  $\alpha$  égale à une demi-course ( $\frac{c}{2}$ ) de la tringle auxiliaire  $kk'$ .

On reconnaît que les quatre combinaisons qui comprennent  $\alpha$  normal sont toutes possibles, c'est-à-dire que, lorsque  $\alpha$  est normal,  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent pas ( $\beta = \gamma$ );

que, d'autre part, des quatre combinaisons comportant  $\alpha$  renversé, la suivante :

$$\alpha R, \quad \beta R, \quad \gamma R,$$

est seule exclue.

Cet enclenchement peut être représenté par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha N}.$$

Il donne, d'autre part, les trois enclenchements conditionnels suivants :

$$1^\circ \quad \text{Si } \alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N},$$

et si  $\alpha N : \beta = \gamma$ ,

c'est-à-dire que,  $\alpha$  étant normal,  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent plus ;

$$2^\circ \quad \text{Si } \beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha N},$$

et si  $\beta N : \alpha = \gamma$  ;

$$3^\circ \quad \text{Si } \gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha N},$$

et si  $\gamma N : \alpha = \beta$ .

On voit que nous nous trouvons en présence d'une autre solution du cinquième cas du premier groupe de la première série.

45. Troisième cas. — La barre d'enclenchement  $\alpha$

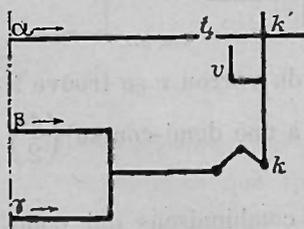


FIG. 35.

ne porte qu'un trou  $t_2$  qui vient se placer en face du verrou  $v$  quand  $\alpha$  est renversé, et le verrou  $v$  lui-même est placé sur la tringle auxiliaire  $kk'$  de telle sorte qu'il suffise de renverser l'un seulement des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  pour que le verrou s'engage dans le trou  $t_2$ , si  $\alpha$  est renversé (fig. 35).

On voit immédiatement que toutes les combinaisons où  $\alpha$  est renversé sont possibles entre  $\beta$  et  $\gamma$ , autrement dit que  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent pas ( $\beta = \gamma$ ).

Ce cas peut être représenté par la formule symbolique

$$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha R}.$$

Des quatre combinaisons où  $\alpha$  serait normal, il n'y a de possible que la suivante

$$\alpha N, \quad \beta N, \quad \gamma N.$$

Car,  $\alpha$  étant normal, on ne peut renverser ni  $\beta$  ni  $\gamma$  ; les trois combinaisons ci-après sont donc exclues :

$$\begin{array}{ccc} \alpha N, & \beta R, & \gamma N, \\ \alpha N, & \beta N, & \gamma R, \\ \alpha N, & \beta R, & \gamma R. \end{array}$$

Le dispositif considéré reproduit donc, sous une autre forme, le premier cas du deuxième groupe de la première série et peut aussi se résoudre par les deux enclenchements binaires simples

$$\frac{\alpha N}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha R},$$

et

$$\frac{\alpha N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha R}.$$

Ce cas n'est donc guère à retenir parmi les enclenchements ternaires.

46. Quatrième cas. — Les dispositions sont les mêmes que dans le cas précédent, sauf que le verrou  $v$  est placé sur la tringle auxiliaire  $kk'$ , de telle sorte qu'il ne puisse être engagé dans le trou  $t_2$  de la barre  $\alpha$  que lorsque les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux renversés (fig. 36).

Dans ces conditions la pointe du verrou  $v$  se trouve à une distance de la barre  $\alpha$  égale à une demi-course de la tringle auxiliaire  $kk'$ .

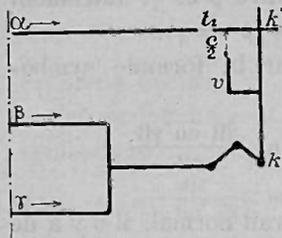


Fig. 36.

On reconnaît facilement que les quatre combinaisons qui comprennent  $\alpha$  renversé sont possibles; autrement dit, que,  $\alpha$  étant renversé,  $\beta$  et  $\gamma$  ne s'enclenchent pas ( $\beta = \gamma$ ), et que, d'autre part, des quatre combinaisons qui comprennent  $\alpha$  normal, il n'y a d'exclue que la suivante :

$$\alpha N, \quad \beta R, \quad \gamma R.$$

Cet enclenchement peut être représenté par la formule symbolique

$$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha R}.$$

Il donne, d'autre part, les trois enclenchements conditionnels suivants :

- 1° Si  $\alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\beta N}$ ;  
Si  $\alpha R : \beta = \gamma$ ;
- 2° Si  $\beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\alpha R}$ ;  
Si  $\beta N : \alpha = \gamma$ ;
- 3° Si  $\gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha R}$ ;  
Si  $\gamma N : \alpha = \beta$ .

Nous retrouverons donc, dans le cas examiné, un dispositif équivalent à celui du troisième cas du deuxième groupe de la première série.

Jusqu'ici, en ce qui concerne les dispositifs de la deuxième série, nous n'avons supposé qu'un seul trou  $t$

ou  $t_2$  dans la barre d'enclenchement  $\alpha$ , ces trous venant se placer en face du verrou  $v$ , suivant que  $\alpha$  est normal ou renversé; on peut donc examiner les cas suivants, où les deux trous  $t$  et  $t_2$  existeraient simultanément.

47. Cinquième cas. — La barre d'enclenchement  $\alpha$  porte deux trous  $t$  et  $t_2$ , qui viennent respectivement se placer en face du verrou  $v$ , suivant que le levier  $\alpha$  est normal ou renversé. En outre, le verrou  $v$  s'engage dans l'un de ces trous et, par conséquent, enclenche la barre  $\alpha$ , dès qu'un seul des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est renversé (fig. 37).

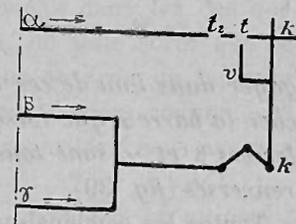


Fig. 37.

Les quatre combinaisons qui comprennent  $\alpha$  renversé sont toutes possibles, et, comme il en est de même des quatre combinaisons qui comprennent

$\alpha$  normal, aucune des huit combinaisons que l'on peut faire avec les positions des trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  n'est exclue; mais on ne peut passer de l'une des combinaisons où  $\alpha$  est renversé à l'une quelconque des combinaisons où  $\alpha$  est normal, sans retirer le verrou  $v$ , c'est-à-dire sans ramener  $\alpha$  normal; on a, par suite, les deux enclenchements binaires doubles

$$\frac{\beta R}{\alpha N \text{ et } \alpha R}, \quad \frac{\gamma R}{\alpha N \text{ et } \alpha R},$$

dont les réciproques peuvent s'écrire

$$\frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\beta N \text{ et } \gamma N}$$

Ces enclenchements binaires doubles pourraient d'ailleurs être réalisés directement sans emploi de balancier et sans addition de levier, au moyen du dispositif de la fig. 38.

Ce cas n'est donc guère à retenir parmi les enclenchements ternaires; il ne se rencontre pas dans la première série d'enclenchements étudiée précédemment, on peut le rapprocher du neuvième cas du premier groupe.

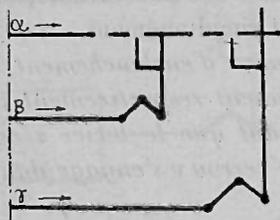


FIG. 38.

48. *Sixième cas.* — La barre d'enclenchement  $\alpha$  porte encore les deux trous  $t$  et  $t_2$  placés comme dans le cas précédent, mais le verrou  $v$  ne peut s'engager dans l'un de ces trous, et par conséquent enclencher la barre  $\alpha$ , que lorsque les leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux renversés (fig. 39).

Toutes les combinaisons sont encore possibles, mais de plus les enclenchements binaires doubles du cas précédent deviennent conditionnels et peuvent s'écrire symboliquement :

$$1^{\circ} \text{ Si } \gamma R : \frac{\beta R}{\alpha N \text{ et } \alpha R}, \text{ et réciproquement } \frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\beta N},$$

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta;$$

c'est-à-dire que  $\alpha$  et  $\beta$  ne s'enclenchent plus;

$$2^{\circ} \text{ Si } \beta R : \frac{\gamma R}{\alpha N \text{ et } \alpha R}, \text{ et réciproquement } \frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\gamma N}.$$

On peut représenter aussi l'enclenchement réalisé par la formule symbolique

$$\frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha N \text{ et } \alpha R}, \text{ et réciproquement } \frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\beta N \text{ ou } \gamma N}.$$

Ce cas ne se rencontre pas dans la première série d'enclenchements étudiée précédemment.

### Deuxième série. — Deuxième groupe.

49. — Nous avons encore à examiner certains dispositifs, qui formeront le deuxième groupe de la deuxième série et dans lesquels le verrou  $v$  de la tringle d'enclenchement  $kk'$  occupe sur cette tringle une position retournée par rapport à celle qu'il occupait dans les cas que nous venons de passer en revue, de telle sorte que ce verrou sera toujours engagé dans un trou de la barre d'enclenchement  $\alpha$ , quand les deux leviers conjugués  $\beta$  et  $\gamma$  seront dans leurs positions normales; nous avons à étudier les cas suivants :

50. *Premier cas.* — La barre  $\alpha$  ne porte qu'un trou  $t$  dans lequel est engagé le verrou  $v$ , quand cette barre et par suite le levier  $\alpha$  sont dans une position normale; en outre, le verrou  $v$  dégage le trou  $t$  dès que l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est renversé (fig. 40).

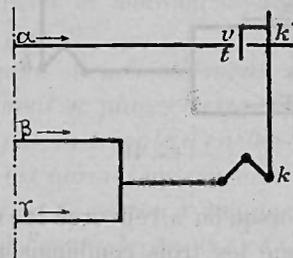


FIG. 40.

On voit d'abord que les quatre combinaisons où  $\alpha$  est normal sont possibles, et que des quatre combinaisons où  $\alpha$  est renversé il n'y a d'exclue que la combinaison

$$\alpha R, \beta N, \gamma N,$$

car, dès que l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est renversé,  $\alpha$  peut aussi être renversé. Cet enclenchement peut donc être représenté par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ ou } \gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ et } \gamma N}{\alpha N}.$$

L'enclenchement considéré peut être présenté sous la forme conditionnelle, ainsi qu'il suit :

- 1° Si  $\gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}$ , et réciproquement  $\frac{\beta N}{\alpha N}$ ; si  $\gamma R : \alpha = \beta$ ;
- 2° Si  $\beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma N}{\alpha N}$ ; si  $\beta R : \alpha = \gamma$ .

On voit que nous retrouvons, avec un autre dispositif, l'enclenchement du septième cas du premier groupe de la première série.

51. Deuxième cas. — La barre d'enclenchement  $\alpha$  ne porte, comme dans le cas précédent, qu'un seul trou  $t$  dans lequel est engagé le verrou  $v$ , quand la barre  $\alpha$  est dans sa position normale.

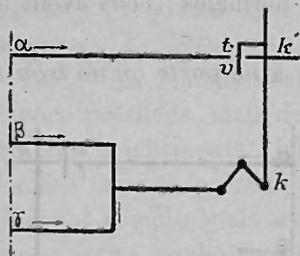


FIG. 41.

En outre, le verrou  $v$  ne dégage le trou  $t$  que lorsque les leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux renversés (fig. 41).

Puisque le trou  $t$  n'est dégage par le verrou  $v$ , et le levier  $\alpha$  n'est rendu libre, que

lorsqu'on a renversé les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , il en résulte que les trois combinaisons suivantes :

$$\begin{matrix} \alpha R, & \beta N, & \gamma N, \\ \alpha R, & \beta R, & \gamma N, \\ \alpha R, & \beta N, & \gamma R, \end{matrix}$$

sont impossibles, et que des quatre combinaisons qui comprennent  $\alpha R$  une seule

$$\alpha R, \quad \beta R, \quad \gamma R$$

est possible ; nous retrouvons l'enclenchement du troisième cas du premier groupe de la première série ;

on peut le représenter par la formule symbolique

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ et } \gamma R}, \quad \text{et réciproquement} \quad \frac{\beta N \text{ ou } \gamma N}{\alpha N}.$$

En réalité, comme nous l'avons déjà vu, il revient aux deux enclenchements binaires simples

$$\frac{\alpha R}{\beta R} \quad \text{et} \quad \frac{\alpha R}{\gamma R},$$

dont les réciproques sont respectivement

$$\frac{\beta N}{\alpha N} \quad \text{et} \quad \frac{\gamma N}{\alpha N},$$

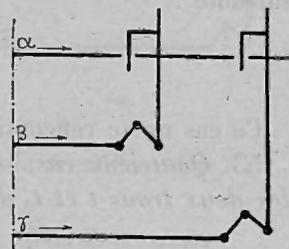


FIG. 42.

qui peuvent être obtenues sans conjugaison des leviers  $\beta$  et  $\gamma$ , c'est-à-dire sans emploi de balancier ni addition de leviers, ainsi que le représente la fig. 42.

52. Troisième cas. — La barre d'enclenchement  $\alpha$  porte deux trous  $t$  et  $t_2$  qui viennent se placer respectivement devant le verrou  $v$  porté par la tringle d'enclenchement, suivant que le levier  $\alpha$  est normal ou renversé.

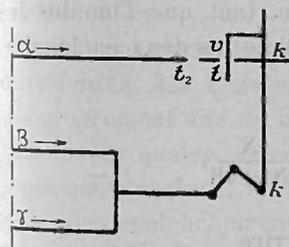


FIG. 43.

En outre, le verrou  $v$  dégage l'un ou l'autre des trous  $t$  et  $t_2$  dès que l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est renversé (fig. 43).

Dans ce cas toutes les combinaisons sont possibles ; et, comme le verrou  $v$  immobilise la barre  $\alpha$ , normale ou renversée, tant qu'il est engagé dans l'un ou l'autre des trous  $t$

et  $t_2$  et, par conséquent, tant qu'aucun des deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  n'est renversé, nous avons les deux enclenchements binaires doubles conditionnels :

Si  $\gamma^N : \frac{\beta^N}{\alpha^N \text{ et } \alpha^R}$ , et réciproquement  $\frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\beta^R}$  ;  
 Si  $\gamma^R : \beta = \alpha$ ,  
 et si  $\beta^N : \frac{\gamma^N}{\alpha^N \text{ et } \alpha^R}$ , et réciproquement  $\frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\gamma^R}$  ;  
 Si  $\beta^R : \gamma = \alpha$  ;

qui peuvent être résumées dans la formule symbolique suivante :

$$\frac{\beta^N \text{ et } \gamma^N}{\alpha^N \text{ et } \alpha^R}$$

Ce cas ne se rencontre pas dans la première série.

53. *Quatrième cas.* — La barre d'enclenchement porte les deux trous  $t$  et  $t_2$  disposés comme dans le cas précédent ; mais le verrou  $v$  ne dégage l'un ou l'autre des deux trous  $t$  et  $t_2$  que lorsque les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux renversés (fig. 44).

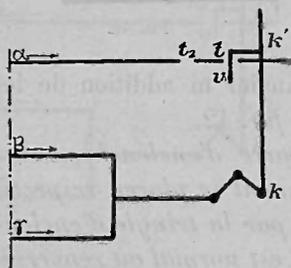


FIG. 44.

Toutes les combinaisons sont possibles comme dans le cas précédent, mais la barre  $\alpha$  est immobilisée, normale ou renversée, tant que l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  est normal, ce qui donne les deux enclenchements binaires doubles

$$\frac{\beta^N}{\alpha^N \text{ et } \alpha^R}, \quad \frac{\gamma^N}{\alpha^N \text{ et } \alpha^R}$$

dont les réciproques peuvent s'écrire

$$\frac{\alpha \text{ pendant sa course}}{\beta^R \text{ et } \gamma^R}$$

On pourrait encore représenter l'ensemble de ces deux

enclenchements par la formule symbolique

$$\frac{\beta^N \text{ ou } \gamma^N}{\alpha^N \text{ et } \alpha^R}$$

On peut, d'ailleurs, résoudre le cas qui nous occupe, sans emploi de balancier, ni addition de leviers, comme l'indique la fig. 45, en réalisant séparément les deux enclenchements binaires doubles qui viennent d'être indiqués.

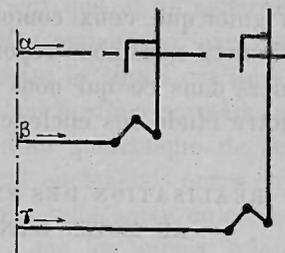


FIG. 45.

Ce cas ne se rencontre pas dans la première série.

#### Résumé des dispositifs de la deuxième série.

54. — En résumé, nous n'avons trouvé, dans les dispositifs de la deuxième série que nous venons d'examiner, aucun enclenchement usuel que ne fournisse déjà la première série.

Sur les dix cas que comprend la deuxième série, trois sont susceptibles d'être réalisés par des enclenchements binaires simples sans emploi de balanciers et sans addition de leviers.

Trois reproduisent, dans des conditions absolument équivalentes, les trois cas d'enclenchements conditionnels proprement dits de la première série.

Enfin les quatre autres cas donnent des enclenchements qui n'excluent aucune combinaison, et se ramènent soit à des enclenchements binaires doubles susceptibles d'être réalisés séparément, sans balancier ni addition de leviers, soit à des enclenchements binaires doubles conditionnels, qui peuvent être rapprochés d'enclenchements similaires de la première série et qui n'offrent d'ailleurs qu'un intérêt pratique très restreint.

Du reste, les dispositifs compris dans la deuxième série sont beaucoup moins utilisés dans les appareils Vignier que ceux compris dans la première série. Pour ce motif nous nous reporterons principalement à ces derniers dans ce qui nous reste à exposer pour terminer notre étude des enclenchements ternaires.

RÉALISATION DES ENCLÈCHEMENTS TERNAIRES  
AU MOYEN D'ENCLÈCHEMENTS BINAIRES.

55. — Des quatre catégories d'enclenchements que nous avons examinées en résumant les dispositifs de la première série (§ 41), il est surtout intéressant de s'arrêter à la seconde et à la troisième; rappelons ici les cas qu'elles comprennent.

La seconde catégorie comprend trois cas qui excluent deux combinaisons sur les huit que l'on peut former avec les positions de trois leviers:  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  (deuxième et huitième cas du premier groupe, et quatrième cas du deuxième groupe).

La troisième catégorie comprend six cas pouvant être présentés comme enclenchements conditionnels; trois de ces cas donnent des enclenchements incomplets (quatrième et sixième cas du premier groupe, et deuxième cas du deuxième groupe), et les trois autres des enclenchements conditionnels complets ou proprement dits (cinquième et septième cas du premier groupe, et troisième cas du deuxième groupe).

56. — Or souvent on réalise des dispositions répondant à l'objet principal de ces enclenchements et qui sont pratiquement équivalentes, en ne faisant usage que d'enclenchements binaires simples, mais en munissant certains appareils de leviers de manœuvre multiples. Nous croyons utile de donner dès à présent quelques exemples de la réalisation, au moyen d'enclenchements binaires

simples et de leviers multiples, des cas d'enclenchements entre plus de deux leviers.

Nous supposons dans ce qui suit que, si un appareil, un signal principalement, peut être manœuvré par plusieurs leviers placés au même poste, le signal est fermé quand tous les leviers sont dans leur position normale, et est ouvert quand on a renversé l'un quelconque de ces leviers. Ces leviers sont en général enclenchés entre eux directement ou indirectement, de telle sorte qu'on ne puisse renverser l'un d'eux sans que les autres soient dans leur position normale.

Réalisation par enclenchements binaires simples  
d'enclenchements ternaires excluant deux combinaisons.

57. — Prenons le deuxième cas du premier groupe des enclenchements ci-dessus étudiés (§ 22), représentés par la fig. 10, et par les notations symboliques suivantes:

$$\frac{\alpha R}{\beta R \text{ ou } \gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ et } \gamma N}{\alpha N},$$

$$\frac{\alpha R}{\beta N \text{ ou } \gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ et } \gamma R}{\alpha N}.$$

L'enclenchement qu'il fournit peut s'énoncer comme suit:

«  $\alpha$  est dégagé de sa position  
« normale par  $\beta$  renversé ou  
« par  $\gamma$  renversé, mais non par  $\beta$   
« et  $\gamma$  renversés à la fois, » au-

trement dit, pour que  $\alpha$  puisse être renversé, il faut que l'un des leviers  $\beta$  et  $\gamma$  soit renversé et l'autre normal.

On pourra munir l'appareil  $\alpha$  de deux leviers de manœuvre  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  disposés de telle façon que, pour renverser  $\alpha$ , il soit nécessaire et suffisant de renverser

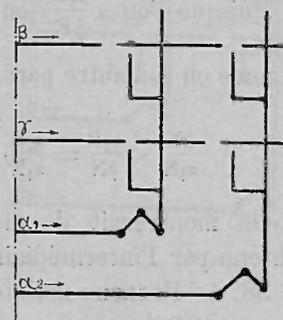


FIG. 46.

l'un de ces leviers. Ceux-ci seront reliés aux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  par les enclenchements binaires simples qu'indique la *fig. 46* et qui peuvent se représenter comme suit :

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1 R}{\beta R}, & \text{ ou réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha_1 N}; \\ \frac{\alpha_1 R}{\gamma N}, & \text{ ou réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha_1 N}; \\ \frac{\alpha_2 R}{\beta N}, & \text{ ou réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha_2 N}; \\ \frac{\alpha_2 R}{\gamma R}, & \text{ ou réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha_2 N}. \end{aligned}$$

On voit qu'on ne pourra renverser  $\alpha_1$  que si  $\beta$  est renversé et  $\gamma$  normal, tandis qu'on ne pourra renverser  $\alpha_2$  que si  $\beta$  est normal et  $\gamma$  renversé; les deux leviers  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  ne peuvent donc être renversés en même temps; ils sont enclenchés indirectement à la fois par l'intermédiaire du levier  $\beta$  et par l'intermédiaire du levier  $\gamma$ ; c'est ce qui résulte d'ailleurs des formules précédentes :

Puisque l'on a  $\frac{\alpha_1 R}{\beta R}$ , on a aussi réciproquement  $\frac{\beta N}{\alpha_1 N}$ , et, comme on a, d'autre part,  $\frac{\alpha_2 R}{\beta N}$ , on tire de là :

$$\frac{\beta N}{\alpha_1 N} \times \frac{\alpha_2 R}{\beta N} = \frac{\alpha_2 R}{\alpha_1 N}, \text{ et réciproquement } \frac{\alpha_1 R}{\alpha_2 N}.$$

On montrerait de même que cet enclenchement est obtenu par l'intermédiaire du levier  $\gamma$ .

58. — Prenons maintenant le huitième cas du premier groupe (§ 29), représenté par la *fig. 17* et par les notations symboliques suivantes :

$$\begin{aligned} \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \gamma N}, & \text{ et réciproquement } \frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha N}; \\ \frac{\alpha R}{\beta R \text{ et } \gamma R}, & \text{ et réciproquement } \frac{\beta N \text{ ou } \gamma N}{\alpha N}. \end{aligned}$$

Cet enclenchement ternaire peut s'énoncer comme suit :

«  $\alpha$  ne peut être renversé que si les deux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux normaux ou tous deux renversés ».

On pourra encore munir l'appareil qui correspond à  $\alpha$  de deux leviers de manœuvre  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  reliés aux leviers  $\beta$  et  $\gamma$  par les enclenchements binaires simples qu'indique la *fig. 47* et qui sont représentés par les formules symboliques :

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1 R}{\beta N}, & \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha_1 N}; \\ \frac{\alpha_1 R}{\gamma N}, & \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha_1 N}; \\ \frac{\alpha_2 R}{\beta R}, & \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha_2 N}; \\ \frac{\alpha_2 R}{\gamma R}, & \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha_2 N}. \end{aligned}$$

On montrerait facilement que  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont reliés, par l'intermédiaire de  $\beta$  ou  $\gamma$ , par

l'enclenchement  $\frac{\alpha_1 R}{\alpha_2 N}$  et récipro-

quement  $\frac{\alpha_2 R}{\alpha_1 N}$ , c'est-à-dire que les deux leviers  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  ne peuvent être renversés en même temps.

59. — Le quatrième cas du second groupe (§ 37) est représenté par la *fig. 26* et par les notations symboliques suivantes :

$$\begin{aligned} \frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \gamma N}, & \text{ ou réciproquement } \frac{\beta R \text{ ou } \gamma R}{\alpha R}; \\ \frac{\alpha N}{\beta R \text{ et } \gamma R}, & \text{ ou réciproquement } \frac{\beta N \text{ ou } \gamma N}{\alpha R}. \end{aligned}$$

Ce cas peut s'énoncer comme suit :

«  $\alpha$  ne peut être normal que si  $\beta$  et  $\gamma$  sont tous deux normaux ou tous deux renversés. »

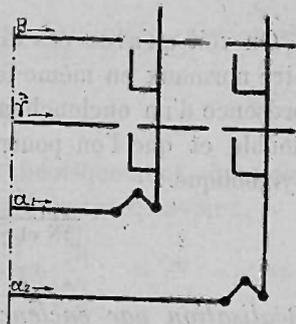


Fig. 47.

La *fig. 48* qui, par exception à la règle précédemment adoptée, représente la barre  $\alpha_1$  dans sa position normale et la barre  $\alpha_2$  dans sa position renversée, permet de concevoir le dispositif qui résoudrait cet enclenchement, l'appareil qui correspond à  $\alpha$  étant muni de deux leviers de manœuvre  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ .

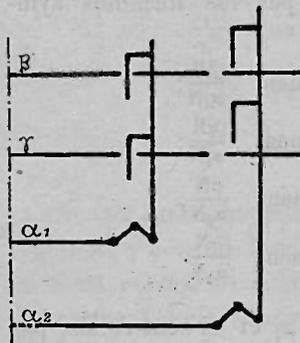


FIG. 48.

Les enclenchements binaires simples réalisés seraient les suivants :

$$\begin{array}{l} \frac{\alpha_1 N}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha_1 R}, \\ \frac{\alpha_1 N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha_1 R}, \\ \frac{\alpha_2 N}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha_2 R}, \\ \frac{\alpha_2 N}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha_2 R}. \end{array}$$

On voit qu'avec ces dispositions  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  ne pourraient être normaux en même temps, et qu'en réalité on est en présence d'un enclenchement qu'on peut appeler ternaire double et que l'on pourrait représenter par la formule symbolique :

$$\frac{\alpha N}{[\beta N \text{ et } \gamma N] \text{ et } [\beta R \text{ et } \gamma R]}.$$

*Réalisation par enclenchements binaires simples des enclenchements ternaires conditionnels proprement dits étudiés précédemment.*

60. — Nous avons vu dans ce qui précède que les dispositifs à balancier, qui donnent des enclenchements conditionnels ternaires, ont pour propriété d'exclure l'une seulement des huit combinaisons que l'on peut obtenir avec les deux positions de chacun des trois leviers  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

La combinaison ainsi exclue peut être l'une des trois

suivantes :

$$1^\circ \quad [\alpha R, \beta R, \gamma R],$$

où les trois leviers sont renversés ;

$$2^\circ \quad [\alpha N, \beta R, \gamma R],$$

où deux des leviers sont renversés et le troisième normal ;

$$3^\circ \quad [\alpha R, \beta N, \gamma N],$$

où l'un des leviers est renversé et les deux autres normaux.

Rappelons d'ailleurs que nous admettons que la combinaison

$$[\alpha N, \beta N, \gamma N],$$

qui représente l'état initial ou normal du système, n'est pas susceptible d'être exclue.

61. — A. *Enclenchements conditionnels comportant l'exclusion de la combinaison :*

$$[\alpha R, \beta R, \gamma R].$$

Ces enclenchements peuvent, théoriquement, si les dispositifs s'y prêtent, être au nombre de trois, savoir :

$$a^1 = \text{si } \gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha N}; \text{ si } \gamma N : \alpha = \beta;$$

$$a^2 = \text{si } \beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha N}; \text{ si } \beta N : \alpha = \gamma;$$

$$a^3 = \text{si } \alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}; \text{ si } \alpha N : \beta = \gamma.$$

Ces trois enclenchements conditionnels complets sont réalisés par le dispositif du cinquième cas du premier groupe de la première série (§ 26) et par celui du deuxième cas du premier groupe de la deuxième série (§ 44); rappelons ici ces dispositifs (*fig. 49* et *49 bis*).

Indiquons maintenant la solution de chacun des trois

enclenchements conditionnels ternaires précédents au moyen d'enclenchements binaires simples, ce à quoi on parviendra en munissant l'un des deux appareils de deux leviers de manœuvre.

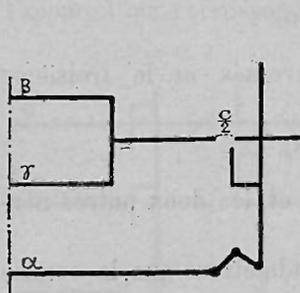


FIG. 49.

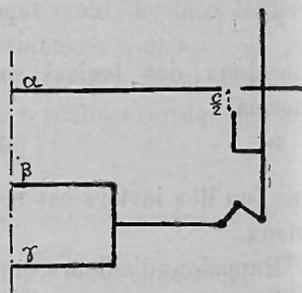


FIG. 49 bis.

Nous supposons toujours, comme précédemment, que l'appareil muni de deux leviers est renversé, lorsque l'un quelconque de ces leviers est renversé.

62. — *Enclenchement a<sup>1</sup>.*

Si  $\gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ ; si  $\gamma N : \alpha = \beta$ .

On munira de deux leviers soit  $\alpha$ , soit  $\beta$ , et l'on obtiendra les deux dispositifs équivalents des *fig. 50* et *50 bis*.

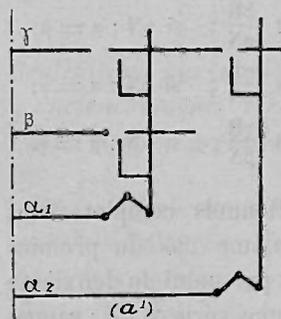


FIG. 50.

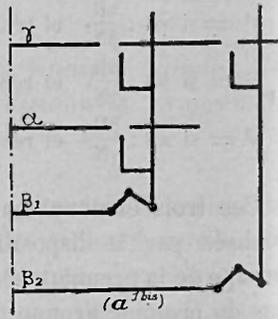


FIG. 50 bis.

Le dispositif *a<sup>1</sup>* de la *fig. 50* montre que, si  $\gamma$  est renversé,  $\alpha$

ne peut être renversé qu'au moyen du levier  $\alpha$ , et à la condition que  $\beta$  soit normal; on a donc bien: si  $\gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ .

Si, au contraire,  $\gamma$  est normal,  $\alpha$  ne peut être renversé que par le levier  $\alpha_2$  qui n'a aucune liaison avec  $\beta$ ; on a donc bien

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

Le dispositif *a<sup>1 bis</sup>* de la *fig. 50 bis* s'obtient au moyen du dispositif *a<sup>1</sup>* en changeant  $\beta$  en  $\alpha$ , et réciproquement; il donne bien le même enclenchement que le dispositif *a<sup>1</sup>*.

63. — *Enclenchement a<sup>2</sup>.*

Si  $\beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\alpha N}$ ; si  $\beta N : \alpha = \gamma$ .

On munira de deux leviers de manœuvre soit  $\alpha$ , soit  $\gamma$ , et l'on obtiendra les deux dispositifs équivalents des *fig. 51* et *51 bis*.

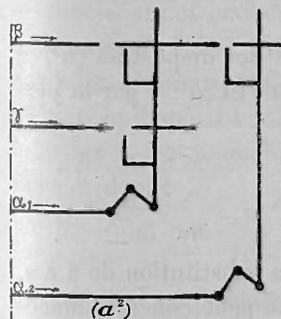


FIG. 51.

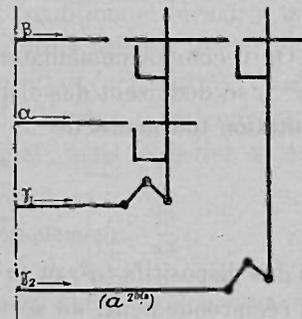


FIG. 51 bis.

Il est facile de reconnaître que ces dispositifs ne diffèrent respectivement des dispositifs (*a<sup>1</sup>*) et (*a<sup>1 bis</sup>*) que par la substitution de  $\gamma$  à  $\beta$ , et réciproquement; d'où l'on peut

conclure, d'après ce qui précède, et sans qu'aucune autre explication soit nécessaire, qu'ils réalisent bien l'enclenchement  $a^3$  sus-indiqué.

64. — *Enclenchement  $a^3$ .*

Si  $\alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}$ , et réciproquement  $\frac{\gamma R}{\beta N}$ ; si  $\alpha N : \beta = \gamma$ .

On munira de deux leviers de manœuvre soit  $\beta$ , soit  $\gamma$ , et l'on obtiendra les deux dispositifs équivalents des *fig. 52* et *52 bis*.

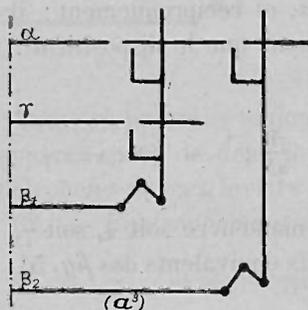


FIG. 52.

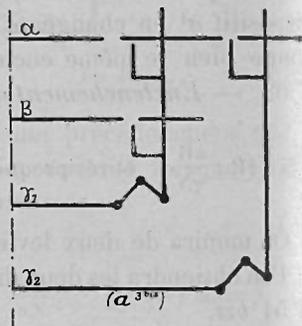


FIG. 52 bis.

On reconnaît immédiatement que ces dispositifs ( $a^3$ ) et ( $a^{3bis}$ ) se déduisent des dispositifs ( $a^1$ ) et ( $a^{1bis}$ ) par la permutation tournante de

$\alpha$  en  $\beta$ ,  
 $\beta$  en  $\gamma$ ,  
 $\gamma$  en  $\alpha$ .

ou des dispositifs ( $a^2$ ) et ( $a^{2bis}$ ) par la substitution de  $\beta$  à  $\alpha$ , et réciproquement, de sorte que l'on peut conclure immédiatement qu'ils réalisent bien l'enclenchement conditionnel ternaire ( $a^3$ ) sus-indiqué.

65. — Nous venons de montrer comment, par l'emploi de leviers multiples, on peut ramener les trois enclenchements ternaires conditionnels ( $a^1$ ), ( $a^2$ ), ( $a^3$ ) à des enclen-

chements binaires simples, ce qui a une importance pratique réelle.

Ces trois enclenchements conditionnels ont une propriété commune, celle de rendre impossible la seule et même combinaison [ $\alpha R, \beta R, \gamma R$ ]; mais les dispositifs au moyen desquels nous venons de montrer qu'ils peuvent être réalisés ne sont pas identiques; ils se déduisent seulement les uns des autres par des permutations entre les leviers.

On est donc naturellement conduit à se poser la question suivante :

Chacun des dispositifs à leviers multiples que nous venons de faire connaître, qui réalise séparément l'un des trois enclenchements conditionnels ternaires  $a^1, a^2, a^3$ , réalise-t-il aussi les deux autres enclenchements, comme le font les dispositifs à balancier que nous avons précédemment étudiés ?

Il y a quelque intérêt à examiner cette question.

Considérons l'enclenchement ( $a^1$ ), c'est-à-dire :

Si  $\gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ ; Si  $\gamma N : \alpha = \beta$ ,

et voyons si cet enclenchement conditionnel ternaire, que nous savons réalisé par les dispositifs ( $a^1$ ), et ( $a^{1bis}$ ), l'est aussi par les dispositifs ( $a^2$ ), ( $a^{2bis}$ ) et ( $a^3$ ), ( $a^{3bis}$ ).

■ Dans le dispositif ( $a^2$ ) (*fig. 51*), lorsque  $\gamma$  est renversé, le levier  $\alpha_1$  est immobilisé normal; mais le levier  $\alpha_2$  est libre et donne :

Si  $\gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}$ , et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha N}$ ,

c'est-à-dire la première partie de notre enclenchement conditionnel. Reste à voir s'il donne aussi la deuxième partie, c'est-à-dire :

Si  $\gamma N : \alpha = \beta$ .

Or, si  $\gamma$  est normal, on voit que les deux leviers  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$

sont libres et qu'en renversant l'un ou l'autre on enclenchera  $\beta$  soit dans sa position normale, soit dans sa position renversée, ce qui donne l'enclenchement :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R} ;$$

au lieu de :

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta .$$

La deuxième partie de notre enclenchement conditionnel, et par suite cet enclenchement lui-même, n'est donc pas réalisé par le dispositif  $a^2$ , bien que ce dispositif n'exclue que la seule combinaison :

$$[\alpha R, \beta R, \gamma R].$$

Examinons maintenant le dispositif ( $a^{2bis}$ ) (*fig. 51 bis*). Pour qu'il réalise la première partie de l'enclenchement conditionnel  $a^1$ , il faut qu'en partant de l'état initial on puisse renverser  $\gamma$ , ce qui est possible au moyen du levier  $\gamma_2$ ; mais,  $\gamma_2$  étant renversé,  $\beta$  et par suite  $\gamma_1$  sont immobilisés normaux et  $\alpha$  est entièrement libre : le dispositif ( $a^{2bis}$ ) ne réalise donc pas la première partie de l'enclenchement conditionnel  $a^1$ , c'est-à-dire ne donne pas :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha N} .$$

Au contraire, le dispositif ( $a^{2bis}$ ) réalise la deuxième partie de l'enclenchement conditionnel considéré, en ce qu'il donne :

$$\text{Si } \gamma N \text{ (c'est-à-dire si } \gamma_1 N \text{ et } \gamma_2 N) : \alpha = \beta .$$

Nous arriverions à des résultats semblables aux précédents, en recherchant :

1° Si le même enclenchement ( $a^1$ ) est réalisé par les dispositifs ( $a^3$ ) et ( $a^{3bis}$ );

2° Si l'enclenchement conditionnel  $a^2$ , c'est-à-dire l'en-

clenchement :

$$\begin{aligned} \text{Si } \beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha N}; \\ \text{Si } \beta N : \alpha = \gamma, \end{aligned}$$

est réalisé par les dispositifs ( $a^1$ ), ( $a^{1bis}$ ) ou ( $a^3$ ) et ( $a^{3bis}$ );

3° Si l'enclenchement conditionnel ternaire ( $a^3$ ), c'est-à-dire l'enclenchement :

$$\text{Si } \alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}; \text{ Si } \alpha N : \beta = \gamma,$$

est réalisé par les dispositifs ( $a^1$ ) et ( $a^{1bis}$ ) ou ( $a^2$ ) et ( $a^{2bis}$ ).

Dans tous les cas, nous trouverions que chaque enclenchement conditionnel, satisfaisant aux conditions qu'il doit remplir pour être regardé comme complet, n'est réalisé entièrement que par ceux des dispositifs précédents qui lui sont en quelque sorte spécialement affectés, et que les autres dispositifs ne réalisent qu'une des parties seulement du même enclenchement.

Néanmoins il sera bon de se rappeler que, si tous ces dispositifs ne réalisent pas, à proprement parler, les mêmes enclenchements conditionnels, si par suite ils ne peuvent être considérés comme équivalents, ils jouissent cependant d'une même propriété, celle d'exclure la combinaison :

$$[\alpha R, \beta R, \gamma R],$$

et cette combinaison seule.

66. — B. *Enclenchements conditionnels ternaires comportant l'exclusion de la combinaison :*

$$[\alpha N, \beta R, \gamma R].$$

Ces enclenchements peuvent théoriquement, et si les

dispositifs s'y prêtent, être au nombre de trois, savoir :

$$b^1 = \text{si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}; \quad \text{si } \alpha R : \beta = \gamma;$$

$$b^2 = \text{si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha R}; \quad \text{si } \beta N : \alpha = \gamma;$$

$$b^3 = \text{si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha R}; \quad \text{si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

Ces trois enclenchements sont réalisés par le dispositif du troisième cas du deuxième groupe de la première série (§ 36) et par celui du quatrième cas du premier groupe de la deuxième série (§ 46) ; nous rappelons ci-après ces dispositifs (*fig. 53 et 53 bis*).

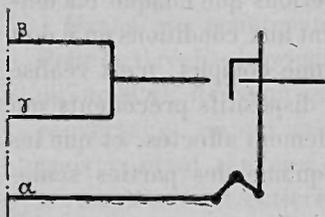


Fig. 53.

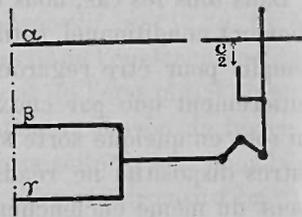


Fig. 53 bis.

Indiquons la solution de chacun des trois enclenchements conditionnels précédents au moyen d'enclenchements binaires simples obtenus en munissant l'un des appareils de deux leviers de manœuvre.

67. — *Enclenchement b<sup>1</sup>*.

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}; \quad \text{si } \alpha R : \beta = \gamma.$$

On munira de deux leviers soit  $\beta$ , soit  $\gamma$ , et l'on obtiendra les deux dispositifs équivalents des *fig. 54 et 54 bis*.

Le dispositif (*b<sup>1</sup>*) (*fig. 54*) montre que, si  $\alpha$  est normal,  $\beta$  ne peut être renversé qu'au moyen du levier  $\beta_1$  et à la

condition que  $\gamma$  soit normal ; on a donc bien :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}.$$

Si, au contraire,  $\alpha$  est renversé,  $\beta$  ne pourra être renversé que par le levier  $\beta^2$  qui n'a aucune liaison avec  $\gamma$ . Ce dernier est alors entièrement libre.

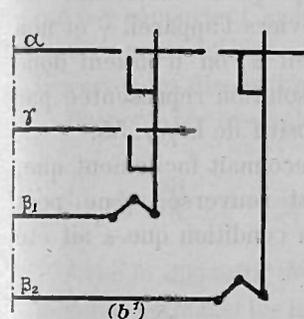


Fig. 54.

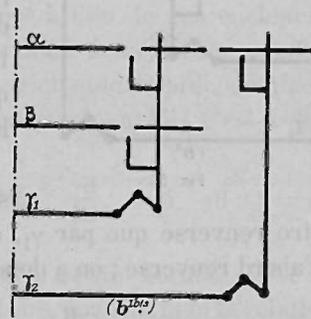


Fig. 54 bis.

On a donc bien :

$$\text{Si } \alpha R : \beta = \gamma.$$

Le dispositif (*b<sup>1 bis</sup>*) (*fig. 54 bis*) montre que, si  $\alpha$  est normal,  $\gamma$  ne peut être renversé qu'au moyen du levier  $\gamma_1$ , et à la condition que  $\beta$  soit normal ; on a donc bien :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\gamma R}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\gamma N}.$$

Si, au contraire,  $\alpha$  est renversé,  $\gamma$  ne peut être renversé qu'au moyen du levier  $\gamma_2$ ,  $\beta$  étant alors entièrement libre ; on a donc :

$$\text{Si } \alpha R : \beta = \gamma.$$

68. — *Enclenchement b<sup>2</sup>*.

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha R}; \quad \text{si } \beta N : \alpha = \gamma.$$

Ici l'enclenchement  $\frac{\alpha N}{\gamma N}$  et sa réciproque  $\frac{\gamma R}{\alpha R}$  ne sont plus de la même nature ; si par suite on cherche à réaliser l'en-

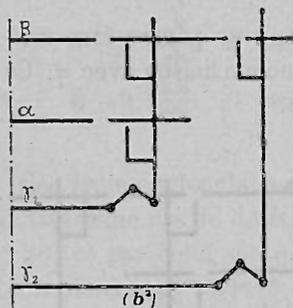


FIG. 55.

clenchement conditionnel précédent par des enclenchements binaires simples, grâce à l'emploi de leviers multiples, on n'y parvient qu'en munissant de deux leviers l'appareil  $\gamma$  et non l'appareil  $\alpha$  ; on n'obtient donc que la solution représentée par le dispositif de la fig. 55.

On reconnaît facilement que, si  $\beta$  est renversé,  $\gamma$  ne peut être renversé que par  $\gamma_1$ , et à la condition que  $\alpha$  ait été d'abord renversé ; on a donc :

$$\text{Si } \beta R : \frac{\gamma R}{\alpha R}, \text{ et réciproquement } \frac{\alpha N}{\gamma N}.$$

De plus, si  $\beta$  est normal,  $\gamma_1$  est immobilisé normal, et les deux leviers  $\alpha$  et  $\gamma_2$  sont entièrement libres ; on a donc :

$$\text{Si } \beta N : \alpha = \gamma.$$

69. — Enclenchement  $b^3$ .

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}$$

et réciproquement  $\frac{\beta R}{\alpha R}$  ;

$$\text{si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

Nous ne pourrions ramener cet enclenchement conditionnel à des enclenchements binaires simples qu'en munissant l'appareil  $\beta$  de deux leviers de manœuvre, ce qui nous conduira au dispositif de la fig. 56.

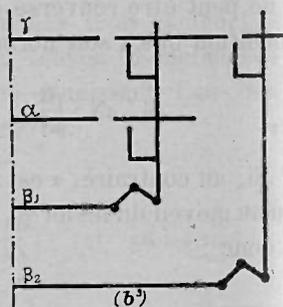


FIG. 56.

Ce dispositif ne diffère du précédent que par la substitution de  $\beta$  à  $\gamma$ , et réciproquement, d'où l'on peut immédiatement conclure qu'il réalise bien l'enclenchement  $(b^3)$ , lequel ne diffère aussi de l'enclenchement  $(b^2)$  que par la substitution de  $\beta$  à  $\gamma$ , et réciproquement.

70. — Nous venons donc d'être conduits à des dispositifs différents pour réaliser les trois enclenchements conditionnels  $(b^1)$ ,  $(b^2)$  et  $(b^3)$ . Il est utile d'examiner si les dispositifs, qui se rapportent spécialement à l'un de ces enclenchements, reproduisent aussi les deux autres, comme cela a lieu avec les dispositifs à balancier étudiés précédemment.

Prenons, par exemple, l'enclenchement  $(b^1)$ , c'est-à-dire :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N} ; \text{ si } \alpha R : \beta = \gamma.$$

Avec le dispositif  $(b^2)$  (fig. 55),  $\alpha$  étant normal,  $\gamma_1$  est immobilisé normal et les leviers  $\beta$  et  $\gamma_2$  donnent bien la relation :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N} \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}.$$

c'est-à-dire la première partie de l'enclenchement conditionnel  $(b^1)$ .

Mais, si  $\alpha$  est renversé, on n'a plus  $\beta = \gamma$ , mais bien l'enclenchement de forme binaire double conditionnelle :

$$\text{Si } \alpha R : \frac{\gamma R}{\beta N \text{ et } \beta R}.$$

De même, si on considère le dispositif  $(b^3)$  (fig. 56) et si l'on suppose  $\alpha$  normal, le levier  $\beta_1$  sera immobilisé normal, et les leviers  $\beta_2$  et  $\gamma$  donneront la relation :

$$\text{Si } \alpha N : \frac{\beta R}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\beta N}.$$

Mais, si  $\alpha$  est renversé, au lieu d'avoir :  $\beta = \gamma$ , on a l'en-

clenchement de forme binaire double conditionnelle :

$$\text{Si } \alpha R : \frac{\beta R}{\gamma N \text{ et } \gamma R}.$$

Revenons maintenant à l'enclenchement conditionnel  $b^2$ :

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha R}; \quad \text{si } \beta N : \alpha = \gamma;$$

et examinons s'il est réalisé par les dispositifs  $(b^1)$ ,  $(b^{1bis})$  et  $(b^3)$ .

Dans le dispositif  $(b^1)$  (*fig. 54*) on ne peut renverser  $\beta$ , en partant de l'état initial  $[\alpha N, \beta N, \gamma N]$  qu'au moyen du levier  $\beta_1$ ; alors  $\alpha$  et  $\gamma$  seront tous deux immobilisés normaux; on n'a donc pas :

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha R};$$

mais, si  $\beta$  et par suite  $\beta_1$  et  $\beta_2$  sont normaux,  $\alpha$  et  $\beta$  sont entièrement libres, et l'on a :

$$\text{Si } \beta N : \alpha = \gamma,$$

c'est-à-dire la deuxième partie, mais la deuxième partie seulement de l'enclenchement considéré.

Si nous passons au dispositif  $(b^{1bis})$ , on voit que,  $\beta$  étant renversé, le levier  $\gamma_1$  est immobilisé normal, et que les deux leviers  $\alpha$  et  $\gamma_2$  fournissent la relation :

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N} \text{ et } \frac{\gamma R}{\alpha R},$$

c'est-à-dire donnent la première partie de l'enclenchement considéré.

Si, d'autre part,  $\beta$  est normal, les leviers  $\alpha$ ,  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  donneront :

$$\text{Si } \beta N : \frac{\gamma R}{\alpha N \text{ et } \alpha R}$$

au lieu de

$$\alpha = \gamma.$$

Arrivons au dispositif  $(b^3)$  (*fig. 56*).

$\beta$  ne peut tout d'abord, en partant de l'état initial, être renversé qu'au moyen du levier  $\beta_2$ , ce qui immobilisera  $\gamma$  normal, en laissant entièrement libre  $\alpha$ ; on n'a donc pas :

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha N}{\gamma N}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma R}{\alpha R}.$$

Mais, si  $\beta$  est normal, ce qui suppose que  $\beta_1$  et  $\beta_2$  sont normaux, les leviers  $\alpha$  et  $\gamma$  sont entièrement libres; on a donc bien :

$$\text{Si } \beta N : \alpha = \gamma,$$

c'est-à-dire la deuxième partie de l'enclenchement  $b^2$ , sans avoir la première, comme on vient de le voir.

Il resterait à examiner si l'enclenchement conditionnel  $b^3$  :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N} \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha R}; \quad \text{Si } \gamma N : \alpha = \beta;$$

auquel correspond le dispositif  $(b^3)$  est réalisé par les dispositifs  $(b^1)$ ,  $(b^{1bis})$ ,  $(b^2)$ .

En procédant comme nous l'avons fait tout à l'heure, on arriverait facilement aux résultats suivants.

Avec le dispositif  $(b^1)$  on a bien la première partie de l'enclenchement considéré, c'est-à-dire :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha R};$$

mais on a de plus :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\beta R}{\alpha N \text{ et } \alpha R},$$

et non

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

Avec le dispositif  $(b^{1bis})$  on n'a pas la première partie de

notre enclenchement considéré :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha R};$$

mais on a la deuxième partie, savoir :

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

Enfin avec le dispositif ( $b^2$ ),  $\gamma$  ne pouvant être tout d'abord renversé que par  $\gamma_2$ , on n'a pas :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha N}{\beta N}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta R}{\alpha R};$$

mais on a :

$$\text{Si } \gamma N : \alpha = \beta.$$

71. C. — *Enclenchements conditionnels ternaires comportant l'exclusion de la combinaison :*

$$[\alpha R, \beta N, \gamma N].$$

En procédant comme nous l'avons fait pour les enclenchements conditionnels précédemment étudiés, on est conduit d'abord à examiner ce que seraient les relations possibles entre les leviers  $\beta$  et  $\gamma$  dans un enclenchement dont  $\alpha R$  serait la condition; or cet enclenchement ne peut exister en tant qu'enclenchement conditionnel complet, attendu que si, partant de l'état initial  $[\alpha N, \beta N, \gamma N]$ , on commence par renverser  $\alpha$ , on tombe précisément sur la combinaison interdite.

Il résulte de là qu'il ne peut correspondre à l'exclusion de la combinaison  $[\alpha R, \beta N, \gamma N]$  que deux enclenchements conditionnels ternaires, savoir :

$$(c^1) \text{ Si } \beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha N}; \text{ si } \beta R : \alpha = \gamma;$$

$$(c^2) \text{ Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha N}; \text{ si } \gamma R : \alpha = \gamma.$$

Ces deux enclenchements sont réalisés par le dispositif à balancier du septième cas du premier groupe de la première série (§ 28) et par le dispositif du premier cas du deuxième groupe de la deuxième série (§ 50); nous rappelons ci-après ces dispositifs (*fig. 57 et 58*) :

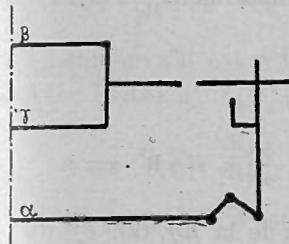


Fig. 57.

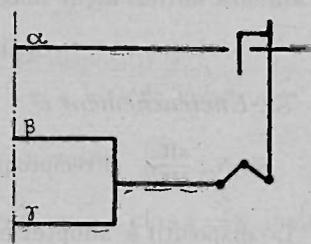


Fig. 58.

Les deux enclenchements conditionnels précédents sont de même forme, et, pour des motifs analogues à ceux déjà indiqués plus haut, on ne pourrait pas les ramener à des enclenchements binaires simples en munissant les appareils  $\gamma$  et  $\beta$  de deux leviers de manœuvre, mais on obtiendra ce résultat en munissant de deux leviers l'appareil  $\alpha$ ; on sera ainsi conduit aux dispositifs que nous allons indiquer.

72. — *Enclenchement  $c^1$  :*

$$\text{Si } \beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R};$$

$$\text{et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha N};$$

$$\text{Si } \beta R : \alpha = \gamma.$$

Le dispositif ( $c^1$ ) (*fig. 59*)

montre que, si  $\beta$  est normal,  $\alpha$  ne peut être renversé que par le levier  $\alpha_1$ , et à la condition que  $\gamma$  ait été d'abord

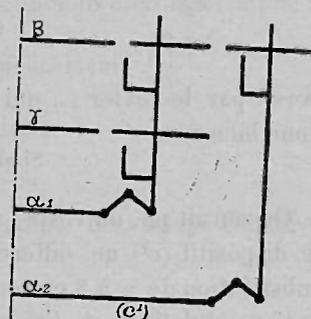


Fig. 59.

renversé ; on a donc bien :

$$\text{Si } \beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha N}.$$

Si, au contraire,  $\beta$  est renversé,  $\alpha$  ne peut être renversé que par le levier  $\alpha_2$ , qui n'a aucune liaison avec  $\gamma$  et est d'ailleurs entièrement libre ; on a donc bien :

$$\text{Si } \beta R : \alpha = \gamma.$$

73. *Enclenchement  $c^2$ .*

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha N} \dots \text{ si } \gamma R : \alpha = \beta.$$

Le dispositif à adopter est celui de la *fig. 60*.

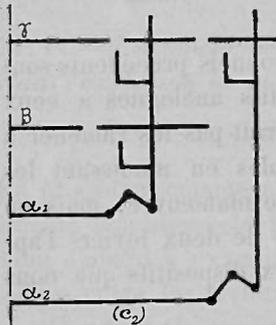


FIG. 60.

On reconnaît facilement que, si  $\gamma$  est normal,  $\alpha$  ne peut être renversé que par le levier  $\alpha_1$  et à la condition que  $\beta$  ait été d'abord renversé, ce qui donne bien :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha N}.$$

Si, au contraire,  $\gamma$  est renversé,  $\alpha_1$  est immobilisé normal,  $\alpha$  peut être librement renversé par le levier  $\alpha_2$ , qui n'a aucune liaison avec  $\beta$  ; on a donc bien :

$$\text{Si } \gamma R : \alpha = \beta.$$

On aurait pu, du reste, se contenter de remarquer que le dispositif ( $c^2$ ) ne diffère du dispositif ( $c^1$ ) que par la substitution de  $\gamma$  à  $\beta$  et réciproquement, et que les observations relatives à l'un de ces dispositifs peuvent se déduire de celles qui se rapportent à l'autre, en tenant compte de cette substitution.

74. — Reste à examiner si le dispositif ( $c^2$ ) reproduit l'enclenchement conditionnel ( $c^1$ ) et, réciproquement, si le dispositif ( $c^1$ ) reproduit l'enclenchement ( $c^2$ ).

Considérons l'enclenchement ( $c^1$ ), c'est-à-dire l'enclenchement :

$$\text{Si } \beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha N}; \text{ si } \beta R : \alpha = \gamma;$$

et examinons s'il est réalisé par le dispositif ( $c^2$ ).

Avec le dispositif ( $c^2$ ) (*fig. 60*) on a bien la relation :

$$\text{Si } \beta N : \frac{\alpha R}{\gamma R}, \text{ et réciproquement } \frac{\gamma N}{\alpha N}.$$

Si, au contraire,  $\beta$  est renversé, on n'a plus  $\alpha = \gamma$ , mais bien l'enclenchement de forme binaire double conditionnelle :

$$\text{Si } \beta R : \frac{\alpha R}{\gamma N \text{ et } \gamma R}.$$

On verrait facilement qu'on arrive à un résultat analogue quand on examine si le dispositif ( $c^1$ ) reproduit l'enclenchement ( $c^2$ ) :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha N}; \text{ si } \gamma R : \alpha = \beta.$$

On trouve que le dispositif ( $c^1$ ) donne bien la relation :

$$\text{Si } \gamma N : \frac{\alpha R}{\beta R}, \text{ et réciproquement } \frac{\beta N}{\alpha N}.$$

Mais, au lieu de donner la relation :

$$\text{Si } \gamma R : \alpha = \beta,$$

ce dispositif donne l'enclenchement de forme binaire double conditionnelle :

$$\text{Si } \gamma R : \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}.$$

(La fin à la prochaine livraison.)

## BULLETIN.

## STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DU CANADA EN 1896.

	PRODUCTION		VALEUR	
	tonnes métr.	francs	tonnes métr.	francs
<b>1° Métaux.</b>				
Cuivre .....	4.257	5.289.547		
Plomb .....	10.977	3.736.769		
Nickel .....	1.588	5.982.900		
Mercure .....	"	"		
Or (en kilogrammes) .....	4.228 <sup>kg</sup>	14.556.867		
Argent (en kilogrammes) .....	99.686 <sup>kg</sup>	11.124.514		
Valeur totale des métaux .....		40.690.594		
<b>2° Matières minérales.</b>				
Charbon .....	3.395.113	41.472.660		
Coke .....	45.184	577.881		
Pétrole .....	93.622	5.986.246		
Gaz naturel .....	"	1.431.234		
Graphite .....	"	48.977		
Minéral de fer .....	80.003	954.741		
Pyrites .....	30.580	523.983		
Fer chromé .....	2.142	134.587		
Minéral de manganèse .....	11	4.662		
Ogres .....	2.041	56.592		
Gypse .....	186.119	903.407		
Phosphate de chaux (apatite) .....	517	20.668		
Pierres à bâtir .....	"	5.180.000		
Granite .....	16.976	552.752		
Sables et graviers .....	"	621.600		
Chaux .....	"	3.367.000		
Ciment .....	19.035	1.043.796		
Ardoises .....	"	276.457		
Pierre meulière .....	3.322	169.956		
Argile réfractaire .....	605	7.392		
Amiante .....	11.111	2.226.654		
Mica .....	"	310.800		
Sel .....	39.868	878.927		
Eaux minérales (litres) .....	3.206.929 <sup>lit</sup>	578.792		
Total .....		67.329.765		
Matières minérales non dénommées, principalement matériaux de construction, briques, tuiles, poteries, etc. ....		14.369.081		
Valeur totale .....		122.389.440		

Sur ces chiffres, la production du plomb tout entière et la plus grande partie de la production de l'argent sont dues à la Colombie Anglaise, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant, qui donne, pour les années 1895 et 1896, le détail de la production de cette partie du Dominion.

## Production minérale de la Colombie Anglaise en 1895 et en 1896.

	1895		1896	
	PRODUCTION	VALEUR	PRODUCTION	VALEUR
	ton. métr.	francs	ton. métr.	francs
Houille .....	954.688	14.602.223	859.775	12.054.611
Coke .....	459	11.707	625	15.928
Plomb .....	7.473	2.757.081	10.977	3.736.769
Cuivre .....	432	246.785	1.732	988.997
Or des placers ..... (en kilogr.)	749	2.495.118	846	2.818.055
Or des filons quartzeux .....	—	1.221	4.067.704	1.936
Argent .....	—	46.542	5.062.046	97.509
Autres matières minérales .....		51.800		77.700
Totaux .....		29.294.464		37.018.481

(Extrait de l'Engineering and Mining Journal.)

## LES GITES D'OR DE LA KLONDIKE RIVER.

Les gîtes d'or de la rivière Klondike, sur lesquels l'attention s'est si vivement portée dans ces derniers mois, sont situés à l'extrémité occidentale du Canada, à peu de distance de la frontière de l'Alaska. La présence de l'or avait été reconnue, depuis une quinzaine d'années, dans les alluvions de diverses rivières tributaires du Yukon, le grand fleuve qui traverse l'Alaska de l'Est à l'Ouest, notamment le long du Forty Mile Creek, affluent de rive gauche du Yukon, qui coupe la limite commune de l'Alaska et du Canada entre 64° et 64° 30' de latitude; mais les exploitations qui y avaient été tentées n'avaient pas donné de résultats bien remarquables et s'étaient peu à peu ralenties: lors de l'exploration faite par lui pour le Service géologique du Canada,

M. R. G. Mc Connell estimait à \$ 45.000 seulement le produit obtenu, pendant la campagne de 1888, par les chercheurs d'or du Forty Mile Creek, tandis que le rendement de l'année précédente aurait été, suivant les uns, de \$ 65.000, suivant les autres de \$ 150.000. Dans son rapport (\*), M. Mc Connell signalait les difficultés que présentait la recherche et l'exploitation des gisements aurifères du district du Yukon, par suite de la rigueur du climat, de la rareté et du prix excessif des vivres, ainsi que du peu de durée de la campagne annuelle, l'élévation des eaux ne permettant pas de travailler pendant plus de trois mois au maximum.

D'autres gisements avait été également découverts, en 1885, dans la vallée de la Stewart, important affluent de rive droite du Yukon, situé à 190 kilomètres environ en amont du Forty Mile Creek ; la production en était estimée par M. le Dr G. M. Dawson à \$ 100.000 pour les deux années 1885 et 1886 ; mais en 1887 ils n'avaient plus donné que \$ 5.000, soit parce qu'ils étaient déjà presque épuisés, soit parce qu'ils avaient été délaissés pour ceux du Forty Mile Creek.

Un peu plus tard, M. W. Ogilvie, l'un des explorateurs de la région, évaluait (\*\*) la production de l'or de l'ensemble du district du Yukon, pour l'année 1893, à un chiffre total de \$ 160.000 à 190.000, dont près des trois quarts provenant des gisements du Sixty Mile Creek, affluent de rive gauche du Yukon situé en amont du Forty Mile Creek, mais en aval de la Stewart, gisements appartenant peut-être, d'ailleurs, à l'Alaska plutôt qu'au Canada (\*\*).

Les gisements de la Klondike, affluent de rive droite du Yukon, situé à quelque distance en aval de la Stewart, n'ont été découverts qu'en 1896, mais les gains réalisés par les premiers explorateurs, dont quelques-uns auraient amassé plusieurs centaines de mille francs en quelques mois, n'ont pas tardé à y attirer de nombreux mineurs, en proie à la fièvre de l'or, malgré les difficultés et la longueur du voyage, malgré la rigueur de la température de la région, qui, en hiver, s'abaisse parfois, paraît-il jusqu'à — 50° et — 55° C. La ville de Dawson City, bâtie au confluent de la Klondike et du Yukon, compte aujourd'hui

(\*) Commission géologique du Canada, Rapport annuel (1888-89), vol. IV, p. 154 D. Ottawa, 1890.

(\*\*) Commission géologique du Canada, Rapport annuel (1894), vol. VII, p. 132 S. Ottawa, 1897.

4.000 habitants, le nombre des mineurs occupés aux exploitations aurifères est évalué à près de 5.000.

L'exploitation porte sur des alluvions, mais elle est rendue particulièrement difficile par la rigueur du climat, le sol, gelé pendant la plus grande partie de l'année, ne dégelant jamais que sur quelques pieds de profondeur ; aussi emploie-t-on souvent le feu pour rendre la matière à extraire plus facile à attaquer. A diverses reprises des pépites ont été trouvées encore adhérentes à des morceaux de quartz, ce qui donne lieu de présumer que les filons en place ne doivent pas être fort éloignés ; mais l'épais tapis de mousse qui couvre les flancs des collines rend les recherches fort difficiles ; on aurait toutefois reconnu déjà un filon de quartz riche, avec une puissance variant de 3 à 8 pieds, dans l'un des vallons tributaires de la Klondike, à une trentaine de kilomètres du Yukon.

Les règlements établis par le Gouvernement Canadien distinguent trois sortes d'exploitations : les *dry diggings*, portant sur les terrains situés au-dessus du niveau des plus hautes eaux, et sur lesquels les *claims* sont des carrés de 100 pieds de côté ; les *bar diggings*, portant sur les terrains compris entre le niveau des plus hautes et celui des plus basses eaux, et où les *claims* sont formés d'une bande de terrain de 100 pieds de largeur, limitée par deux lignes parallèles, normales à la direction du cours d'eau, et s'étendant depuis le niveau des plus hautes eaux jusqu'à celui des plus basses ; les *claims* de rivière, mesurant 500 pieds dans le sens du cours d'eau (longueur réduite à 100 pieds par un nouveau règlement, du 7 août 1897) et s'étendant transversalement d'un bord à l'autre ; enfin les *claims* établis sur des bancs (*bench claims*), et dont la forme et les dimensions sont les mêmes que celles des *dry diggings*.

La propriété d'un *claim* s'acquiert par voie d'occupation, à la condition d'en marquer les limites au moyen de poteaux placés aux quatre angles, sur l'un desquels est inscrit le nom du mineur avec la date du bornage, et d'en faire la déclaration dans le délai de trois jours au Commissaire des mines du district, si le *claim* est à moins de 10 milles de la résidence de ce dernier, un délai supplémentaire étant accordé pour les distances plus grandes, à raison d'un jour pour chaque dizaine de milles en plus, ou fraction de dizaine. Le propriétaire d'un *claim* doit payer un droit de \$ 15 pour la première année, et de \$ 100 pour chacune des années suivantes (ce dernier chiffre a été réduit à \$ 15 par le règlement du 7 août 1897).

Il est établi, en outre, un impôt de 10 p. 100 sur la valeur de l'or extrait; toutefois si la quantité d'or produite par un même claim dépasse \$ 500 par semaine, l'excédent au-dessus de \$ 500 supporte un impôt double, soit de 20 p. 100. Le non-paiement de cet impôt dans le délai de dix jours à partir de l'avis à ce donné entraîne la déchéance de la propriété du claim. Il en est de même de toute tentative de fraude ou de fausse déclaration, la décision du Commissaire des mines devant, en pareil cas, trancher définitivement le différend.

Un mineur ne peut acquérir par voie d'occupation dans une même localité que la propriété d'un seul claim; mais aucune limitation n'est apportée au droit d'en acquérir d'autres par voie d'achat, comme au droit laissé aux mineurs de se réunir pour exploiter en commun plusieurs claims, à la condition que ces transactions soient déclarées au Commissaire des mines et enregistrées par lui, et moyennant le paiement d'un droit de \$ 5 pour l'enregistrement de chaque convention, et de \$ 2 pour tout acte de vente, engagement ou disposition d'un claim.

L'inventeur d'un nouveau gisement a droit, lorsque sa découverte est reconnue par le Commissaire des mines, à un claim de rivière de 750 pieds de longueur (200 pieds seulement, désormais, d'après le règlement du 7 août 1897). La découverte d'une nouvelle couche, non encore reconnue, de gravier ou terre aurifère dans une localité dont les claims sont abandonnés, est assimilée, à cet égard, à la découverte d'un nouveau gisement.

Un claim laissé inexploité pendant les jours ouvrables durant 72 heures est réputé abandonné et libre pour une nouvelle occupation, à moins que le propriétaire n'établisse valablement auprès du Commissaire des mines que cet abandon a été occasionné par la maladie ou toute autre cause légitime, ou bien que le Commissaire ne l'ait autorisé à s'absenter. Si ces conditions ne lui paraissent pas remplies, le Commissaire des mines peut prononcer la déchéance.

Une disposition particulière, et qui mérite de fixer l'attention, est celle qui réserve à la Couronne un claim sur deux alternativement, pour être vendu aux enchères publiques ou pour en être disposé suivant qu'il en sera décidé par le Ministre de l'Intérieur. Toute personne qui viendrait à entreprendre un travail sur un claim réservé à la Couronne serait déchue de tous les droits acquis par elle, soit par voie d'occupation, soit par voie d'achat, sur d'autres claims, et ne serait plus autorisée à en acquérir d'autres dans l'avenir; en outre, la police montée, sur

la réquisition du Commissaire des mines, ferait le nécessaire pour l'expulser.

Quant à la production déjà réalisée sur les placers de la Klondike, les chiffres cités sont trop divergents, et par suite trop incertains, pour qu'il soit possible actuellement de s'en faire une idée exacte. D'après certains renseignements, le Gouvernement Canadien estimerait à 25 millions de francs la quantité d'or extraite en 1896, et il y aurait à prévoir le double au moins pour la campagne de 1897; mais ce premier chiffre serait, à lui seul, notablement supérieur à celui qui a été inscrit à la statistique officielle du Canada (\*) pour l'ensemble de la production de l'or sur les territoires du Dominion en 1896; il paraît donc fort exagéré, à moins qu'on ne suppose, ce qui n'est d'ailleurs pas impossible, que les renseignements relatifs au district du Yukon n'étaient pas parvenus en temps utile à Ottawa pour être compris dans cette statistique, dressée dans les premiers mois de 1897. Il convient, dans tous les cas, de n'accepter que sous de fortes réserves les chiffres indiqués dans certaines publications et dont l'exagération est manifeste.

Il n'est pas sans intérêt, au point de vue de l'avenir de ces exploitations, d'ajouter que M. W. Ogilvie a reconnu l'existence de gîtes de charbon dans la partie supérieure de la vallée de la Klondike.

(Extrait de l'Engineering and Mining Journal et des Rapports annuels de la Commission géologique du Canada.)

R. Z.

## LÉGISLATION ÉTRANGÈRE.

### COLONIE ALLEMANDE DE L'AFRIQUE ORIENTALE.

*Ordonnance du 1<sup>er</sup> novembre 1895 sur la recherche des mines.*

Est soumise aux dispositions de l'ordonnance la recherche des pierres précieuses, — des métaux précieux (or, argent, platine)

(\*) Voir *supra*, p. 450.

et des autres métaux, libres ou en minerais, des substances utilisables soit pour leur teneur en soufre, soit pour leur rendement en alun, vitriol et salpêtre, — de la houille, du lignite et du graphite, du bitume à l'état solide ou liquide (art. 1).

Quiconque veut se livrer aux recherches doit se munir d'un « permis de fouille », qui s'accorde pour six mois, moyennant le paiement mensuel par avance d'une taxe de 5 roupies (12 francs) (art. 3).

Le permis est cessible contre paiement d'une taxe de 10 roupies (24 francs) (art. 5).

Le permis donne le droit exclusif d'exécuter des fouilles dans un cercle de 2 kilomètres de diamètre (314 hectares) tracé autour du signal de fouille que le permissionnaire peut librement planter où il veut, en terrains libres, à la distance d'au moins 2 kilomètres de tout autre signal (art. 6).

Les fouilles sont interdites sans le consentement du propriétaire du sol sous les bâtiments, dans un rayon de cinquante mètres autour d'eux, ainsi que dans les terrains clos (art. 9).

L'explorateur a le droit dans tous autres terrains que ceux indiqués à l'article précédent d'obtenir contre indemnité préalable au propriétaire et après avis des autorités minières la cession de deux hectares au plus pour y ériger ses constructions, et faire paître ses animaux de trait et de ravitaillement (art. 10).

L'explorateur qui a fait une découverte doit la signaler immédiatement à l'autorité. Si celle-ci reconnaît le gîte exploitable, l'explorateur acquiert le droit d'invention dont des dispositions ultérieures fixeront les conséquences (art. 11).

L. A.

## ÉTUDE

SUR LES

### ENCLÈCHEMENTS ENTRE LEVIERS

SERVANT A LA MANŒUVRE DES SIGNAUX, AIGUILLES, ETC., DES CHEMINS DE FER

Par feu M. MASSIEU, Inspecteur général des Mines, Directeur du Contrôle des Chemins de fer de l'Est ;

Revue et publiée

par M. Louis ÉTIENNE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef-Adjoint du Service de la Voie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée

(Suite et fin) (\*).

## DEUXIÈME PARTIE.

### MÉTHODE POUR L'ÉTUDE DES ENCLÈCHEMENTS BINAIRES SIMPLES.

75. — J'ai été conduit à chercher une méthode d'étude qui permette de déduire toutes les conséquences des enclèchements effectivement réalisés, c'est-à-dire tous les enclèchements indirects qui en découlent. Le procédé qui consiste à obtenir des enclèchements indirects, par la multiplication des expressions de forme fractionnelle représentant les enclèchements directs, ne peut conduire à des résultats qu'autant qu'il y a dans le produit obtenu des termes communs au numérateur et au dénominateur de ce produit ; mais il ne donne pas immédiatement toutes

(\*) Voir 10<sup>e</sup> livraison 1897, p. 360 et suiv.

les combinaisons qui résultent des enclenchements réalisés.

On aperçoit tout de suite que la recherche des enclenchements indirects est possible ; il importe de la rendre pratique et complète, afin d'avoir la certitude que toutes les liaisons indirectes sont mises en évidence. C'est le but que me paraît remplir la méthode à laquelle je suis parvenu, après des tâtonnements assez longs.

Il me reste à l'exposer, et je dois déclarer immédiatement qu'on ne la peut facilement comprendre qu'à la condition d'en suivre l'application à des espèces.

Indiquons d'abord l'idée générale et faisons connaître les résultats auxquels elle conduit.

Je me suis proposé, étant donnée la position normale ou renversée d'un levier  $\alpha$ , d'indiquer les positions corrélatives obligatoires d'un certain nombre d'autres leviers, de telle sorte que l'on puisse toujours vérifier si un mouvement, autorisé par la position d'un signal, ou rendu possible par la position d'une aiguille, est incompatible avec un autre mouvement qui serait susceptible, dans le cas contraire, d'amener une collision.

Le cas le plus élémentaire, pour ne citer qu'un exemple de cette incompatibilité nécessaire, se rencontre dans l'enclenchement ou liaison des signaux avancés d'une gare avec les aiguilles donnant accès sur les voies principales ; il se résume en ce qu'aucune de ces aiguilles ne peut donner accès sur une voie principale, sans que le signal avancé, ou que les signaux avancés, si la manœuvre doit engager les deux voies, aient été mis à l'arrêt. Mais, si une prescription de cette nature suffit pour les petites gares, il n'en est plus de même pour les gares importantes et on ne peut plus se borner à dire dans ce dernier cas que les aiguilles doivent être enclenchées avec les signaux avancés.

76. — Considérons un poste de dix leviers désignés

par les numéros 1 à 10 et classés dans l'ordre de ces numéros.

Formons un tableau à double entrée analogue à une table de multiplication (*fig. 61*) et portons d'abord à cet effet sur une première ligne horizontale et dans la première colonne verticale de gauche les numéros des dix leviers rangés dans l'ordre adopté. Sur la ligne horizontale correspon-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	R			R	N			R	N	N
2		R			D					
3			R							
4	D			R						
5	N	R			R					
6						R		R	D	D
7							R		D	N
8	D					D		R	$\frac{d}{6}$	$\frac{d}{6}$
9	N					R	R	$\frac{r}{6}$	R	$\frac{n}{7}$
10	N					R	N	$\frac{r}{6}$	$\frac{n}{7}$	R

FIG. 61.

nant au levier n° 1 de la première colonne verticale de gauche j'indiquerai les positions obligatoires que doivent occuper les différents leviers, lorsque le levier 1 est renversé, et cela en inscrivant soit la lettre N (normale), soit la lettre R (renversée) dans la case correspondant à chaque numéro de levier inscrit en tête du tableau. La lettre R, inscrite au point de rencontre de la colonne verticale et de la ligne horizontale correspondant au levier n° 1, rappellera que toutes les positions de leviers ins-

crites sur la même ligne horizontale correspondent à la position renversée du levier dont le numéro est inscrit dans la première colonne de gauche du tableau.

Je dresserai le tableau en procédant pour chacun des dix leviers comme pour le levier n° 1.

Pour les enclenchements binaires de la forme

$$\frac{\alpha R}{\beta R}$$

ou de la forme

$$\frac{\alpha R}{\beta N}$$

je ne rencontrerai aucune difficulté à suivre la règle ci-dessus.

Quant aux enclenchements de la forme  $\frac{\alpha N}{\beta N}$ , je les exprimerai, ainsi qu'il a été dit dans la première partie de cette étude, par la formule  $\frac{\alpha R}{\beta D}$ , qui signifie que  $\beta$  ne peut être dégagé de sa position normale que si  $\alpha$  est renversé.

Voyons ce qu'indique le tableau ci-dessus.

Le levier 1 ne peut être ou se trouver renversé qu'autant que les leviers 4 et 8 sont renversés et que les leviers 5, 9 et 10 sont dans leurs positions normales; ces enclenchements du levier 1 s'expriment sous les formes suivantes :

$$\frac{1R}{4R}, \quad \frac{1R}{5N}, \quad \frac{1R}{8R}, \quad \frac{1R}{9N}, \quad \frac{1R}{10N}$$

Les réciproques de ces enclenchements sont

$$\frac{4N}{1N} \quad \text{ou} \quad \frac{4R}{1D}, \quad \frac{5R}{1N}, \quad \frac{8N}{1N} \quad \text{ou} \quad \frac{8R}{1D}, \quad \frac{9R}{1N}, \quad \frac{10R}{1N}$$

Toutes ces réciproques vont se trouver inscrites dans

la première colonne verticale dans laquelle figureront une seconde fois les relations des divers leviers avec le levier 1.

Il résulte de là une symétrie du tableau par rapport à sa diagonale générale tracée de l'angle de gauche supérieur à l'angle de droite inférieur, étant entendu toutefois que toute lettre N aura pour symétrique une autre lettre N et que toute lettre R aura pour symétrique une lettre D, ou réciproquement.

Passons au levier 2, c'est-à-dire à la deuxième ligne horizontale du tableau. On a voulu obtenir l'enclenchement  $\frac{5R}{2R}$  que nous retrouverons à la cinquième ligne horizontale; sa réciproque, qui doit figurer à la deuxième ligne, est  $\frac{2N}{5N}$ , et nous l'y avons écrite sous la forme

$$\frac{2R}{5D}$$

Le levier 3 n'entre dans aucun enclenchement, on le fait figurer néanmoins sur le tableau, pour que celui-ci soit complet et pour faire connaître que le levier 3 n'a aucune liaison avec les autres.

Le levier 4 se trouve relié au levier 1 par la réciproque de l'enclenchement  $\frac{1R}{4R}$  inscrit sur la première ligne horizontale, il figure par suite à la quatrième ligne horizontale sous la forme  $\frac{4R}{1D}$ , liaison équivalente par convention à  $\frac{4N}{1N}$ .

Le levier 5 est relié aux deux leviers 1 et 2 par les enclenchements  $\frac{5R}{1N}$ ,  $\frac{5R}{2R}$ , réciproques des enclenchements  $\frac{1R}{5N}$ ,  $\frac{2R}{5D}$  déjà mentionnés.

77. — Nous ne poursuivrons pas plus loin l'examen de détail du tableau, ce qui précède nous paraissant suffire pour en faire comprendre la signification, et pour démontrer sa symétrie par rapport à sa diagonale.

Dans ce tableau nous n'avons d'abord écrit que les enclenchements directs, c'est-à-dire intentionnellement réalisés par des organes spéciaux à chaque enclenchement; ils sont indiqués par de grandes lettres R, N, D.

Mais les enclenchements directs, en se combinant entre eux donnent lieu à des enclenchements indirects; autrement dit, deux leviers entre lesquels on n'a pas matériellement établi de liaisons spéciales peuvent avoir leurs positions dépendantes les unes des autres, c'est-à-dire se trouver indirectement enclenchés par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs autres leviers.

Ce sont ces enclenchements indirects, intéressant tout autant que les autres la sécurité des mouvements, qu'il s'agit de rechercher.

Pour distinguer les enclenchements directs des enclenchements indirects, nous indiquerons ces derniers par de petites lettres: *r*, *n*, *d*, et nous procéderons de la manière suivante:

Considérons le levier auquel s'applique la première ligne horizontale du tableau précédent et examinons successivement tous les enclenchements directs dans lesquels entre le levier 1, afin d'en déduire des enclenchements indirects.

Prenons d'abord l'enclenchement  $\frac{1R}{4R}$ ; voyons si la position renversée de 4 entraîne certaines positions déterminées pour d'autres leviers du poste.

Me reportant dans ce but à la ligne horizontale 4, consacrée aux liaisons du levier 4, je vois que 4R n'entraîne que le dégagement du levier 1, ce qui n'est d'ailleurs que la réciproque de l'enclenchement  $\frac{1R}{5R}$ , et je ne

n'arrête pas à cette réciproque, qui était évidente d'avance; la position 4R ne fait donc intervenir aucun levier nouveau, et je n'ai pas à aller plus loin.

L'enclenchement direct  $\frac{1R}{5N}$  n'entraîne à son tour aucune conséquence, car, si on se reporte à la cinquième ligne horizontale, on voit que 5R ne dégage aucun levier et, par suite que 5N n'enclenche aucun autre levier.

L'enclenchement  $\frac{1R}{8R}$  ne donne lieu à aucun enclenchement indirect, puisque 8R ne donne que 1D qui est sa réciproque et 6D, ce qui n'impose aucune position déterminée au levier 6.

Les enclenchements  $\frac{1R}{9N}$  et  $\frac{1R}{10N}$  ne donnent lieu non plus à aucun enclenchement indirect, vu que les neuvième et dixième lignes horizontales montrent que 9R et 10R ne dégagent aucun levier, ce qui veut dire que 9N et 10N n'imposent aucune position déterminée à aucun levier.

Nous pourrions passer en revue les enclenchements directs dans lesquels entrent les leviers 2, 4, 5, 6 et 7, ainsi que nous l'avons fait pour le levier n° 1; nous constaterions que ces enclenchements ne donnent lieu à aucun enclenchement indirect.

Passons tout de suite, pour abrégé, au levier 8. Nous voyons d'abord que 8R dégage les leviers 1 et 6, c'est-à-dire que l'on a

$$\frac{8N}{1N} \quad \text{et} \quad \frac{8N}{6N}$$

$\frac{8N}{1N}$  n'entraîne aucune conséquence, vu que la première ligne horizontale montre que 1R ne dégage aucun levier.

Mais il n'en est pas de même de  $\frac{8N}{6N}$ . La ligne horizontale 6 montre en effet que 6R dégage 9 et 10, ce qui

équivalent aux enclenchements

$$\frac{6N}{9N} \quad \text{et} \quad \frac{6N}{10N}$$

On obtient donc les enclenchements indirects suivants :

$$\frac{8N}{9N} \quad \text{et} \quad \frac{8N}{10N}$$

ou, ce qui revient au même,

$$\frac{8R}{9a} \quad \text{et} \quad \frac{8R}{10a}$$

En conséquence, à la huitième ligne horizontale du tableau, laquelle concerne le levier 8, nous écrivons la lettre *d*, dans les colonnes 9 et 10, et au dessous le chiffre 6, pour indiquer que c'est par l'intermédiaire du levier 6 que le levier 8 est relié aux deux leviers 9 et 10.

Examinons maintenant la neuvième ligne horizontale consacrée à l'indication du levier 9 avec les autres leviers du poste.

L'enclenchement  $\frac{9R}{1N}$  ne donne aucun enclenchement indirect, attendu que, dans la première ligne horizontale du tableau, ne figure aucune lettre D, ce qui veut dire que 1R ne dégage aucun levier, ou, ce qui revient au même, que 1N n'impose de position déterminée à aucun levier.

Cherchons maintenant si l'enclenchement  $\frac{9R}{6R}$  a des conséquences ; nous voyons à la sixième ligne du tableau que 6R entraîne 8R, il en résulte l'enclenchement indirect  $\frac{9R}{8r}$  que nous écrivons à la neuvième ligne et à la huitième colonne du tableau en plaçant au-dessous de la lettre *r* le chiffre 6, pour indiquer que le levier 9 est relié au levier 8 par l'intermédiaire du levier 6. Nous devons nous

demande encore si 8r entraîne des positions déterminées pour d'autres leviers, et nous voyons à la huitième ligne du tableau général qu'il n'en est rien ; nous avons donc épuisé toutes les conséquences possibles de l'enclenchement direct  $\frac{9R}{6R}$ .

On voit sur la septième ligne horizontale du tableau l'enclenchement  $\frac{7R}{10N}$  : l'enclenchement  $\frac{9R}{7R}$  a donc pour conséquence l'enclenchement indirect  $\frac{9R}{10N}$ , ce que j'écris par une petite lettre dans le tableau en plaçant au-dessous de la lettre *n* le chiffre 7 pour indiquer que 9 enclenche indirectement le levier 10 par l'intermédiaire de 7.

Poursuivons la recherche des conséquences possibles de l'enclenchement  $\frac{9R}{7R}$  et, par suite, de l'enclenchement indirect  $\frac{9R}{10n}$  ; nous voyons à la dixième ligne du tableau que ce dernier enclenchement n'a aucune conséquence, puisque 10R ne dégage aucun levier.

Nous avons ainsi épuisé les enclenchements indirects dans lesquels peut entrer le levier 9.

Terminons la recherche des enclenchements indirects par ceux dans lesquels entre le levier 10 et cherchons ces enclenchements en nous reportant aux lignes horizontales du tableau qui concernent les leviers 1, 6 et 7 avec lesquels le levier 10 est directement enclenché.

$\frac{10R}{1N}$  ne donne rien, puisque 1R ne dégage aucun levier.

On a  $\frac{10R}{6R}$  et  $\frac{6R}{8R}$ , d'où l'enclenchement indirect

$$\frac{10R}{8R}$$

ce qui nous conduit à placer une lettre *r* à la dixième

ligne et dans la huitième colonne du tableau avec le chiffre 6 au-dessous de cette lettre, pour rappeler que les leviers 10 et 6 sont indirectement enclenchés entre eux par l'intermédiaire du levier 6. Nous constatons ensuite à la huitième ligne horizontale que 8 peut être renversé sans qu'aucun autre levier soit placé dans une position déterminée; nous n'avons donc pas à pousser plus loin la recherche des conséquences de l'enclenchement direct  $\frac{10R}{6R}$ .

Passons enfin à l'enclenchement direct  $\frac{10R}{7N}$ ; nous voyons à la septième ligne horizontale que 7N entraîne 9N, puisque 7R donne 9D; d'où l'enclenchement indirect  $\frac{10R}{9N}$ .

Nous inscrivons ce résultat au moyen d'une lettre *n* à la dixième ligne du tableau, en plaçant au-dessous de cette lettre le chiffre 7, pour indiquer que c'est par l'intermédiaire du levier 7 que le levier 10 est enclenché avec le levier 9.

On vérifie facilement, sur le tableau à double entrée ainsi complété, la symétrie par rapport à la diagonale, aussi bien pour les enclenchements indirects que pour les enclenchements directs; symétrie qui consiste en ce que tout N a pour symétrique un N, et tout R a pour symétrique un D, et réciproquement; en outre, que tout *n* a pour symétrique un *n*, et que tout *r* a pour symétrique un *d*, et réciproquement.

78. — On peut se rendre compte par ce qui précède que notre méthode a deux buts: 1° rechercher tous les enclenchements indirects qui existent de fait entre les leviers d'un même poste, comme conséquence des enclenchements directement réalisés entre ces leviers; 2° faire connaître pour la position normale ou renversée d'un levier déterminé la situation obligée des autres leviers

auxquels il se trouve relié directement ou indirectement.

On remarquera que, dans ce qui précède, tout en visant pour la simplicité du langage des leviers de manœuvre d'aiguilles ou de signaux, je n'ai fait qu'examiner des combinaisons arithmétiques, en dehors de toute application, et par là j'ai voulu montrer toute la généralité des résultats obtenus.

Poste n° 2 de Segré (Ouest).

79. — Appliquons maintenant ces résultats.

Le tableau que j'ai établi à titre d'exemple représente les enclenchements directs et indirects du poste n° 2 de la gare de Segré; je donne ci-dessous un croquis (fig. 62),

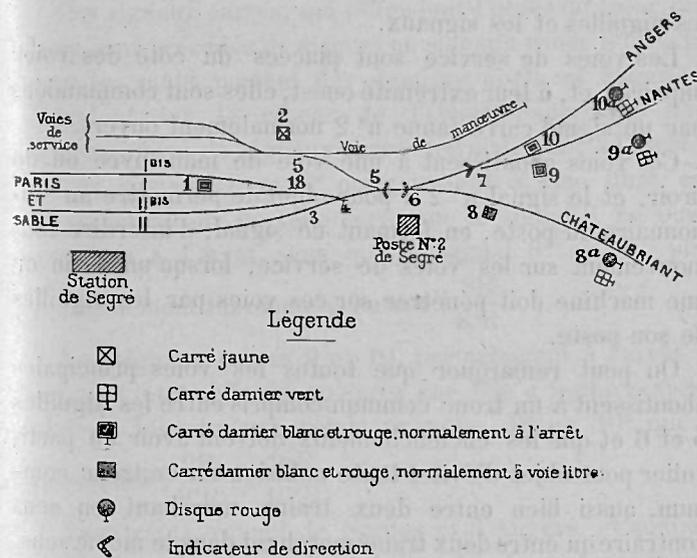


FIG. 62.

représentant les dispositions des appareils, aiguilles ou signaux, placés dans les dépendances de ce poste, qui est

situé au-delà du bâtiment des voyageurs, près de la bifurcation des trois lignes à voie unique d'Angers, Nantes et Châteaubriant.

La gare de Segré possède quatre voies pour la réception normale des trains de voyageurs, savoir : deux voies pour les trains impairs, voies que nous désignons par I et I *bis*, et deux voies pour les trains pairs, voies que nous désignons par II et II *bis*.

Les trains impairs sont ceux qui viennent de la direction de Paris ou de Sablé ; les trains pairs circulent dans le sens inverse.

Pour la clarté de l'exposé, et pour approprier l'exemple tiré de la gare de Segré à l'application du tableau précédemment donné, j'ai cru devoir changer entièrement les numéros qui, dans la consigne de cette gare, désignent les aiguilles et les signaux.

Les voies de service sont placées du côté des voies impaires, et, à leur extrémité ouest, elles sont commandées par un signal carré jaune n° 2 normalement ouvert.

Ces voies aboutissent à une voie de manœuvre ou de tiroir, et le signal n° 2 a pour objet de permettre au stationnaire du poste, en fermant ce signal, d'interdire tout mouvement sur les voies de service, lorsqu'un train ou une machine doit pénétrer sur ces voies par les aiguilles de son poste.

On peut remarquer que toutes les voies principales aboutissent à un tronc commun compris entre les aiguilles 5 et 6 et que les enclenchements doivent avoir en particulier pour objet d'éviter toute collision sur ce tronc commun, aussi bien entre deux trains marchant en sens contraire qu'entre deux trains marchant dans le même sens.

Le signal n° 2 dont nous parlions tout à l'heure n'est pas destiné à empêcher l'accès des voies de service sur le tronc commun ; c'est en maintenant la jonction 5-5 dans sa position normale que l'on empêche cet accès.

Le signal carré rouge (damier blanc et rouge) n° 1 normalement à l'arrêt a pour objet d'autoriser ou d'interdire le départ de tout train ou machine vers Angers, Nantes ou Châteaubriant (nous figurons avec un double contour les signaux, quels qu'ils soient, qui doivent être maintenus à l'arrêt).

Le signal carré n° 1 est d'ailleurs un signal de départ, qui n'a besoin d'être protégé lui-même par aucun disque ou signal rond, tous les trains et toutes les machines isolées devant s'arrêter à la gare de Segré, d'après la consigne de cette gare.

L'arrivée des trains venant de Châteaubriant, Nantes et Angers est commandée par les signaux carrés 8, 9 et 10, dont le premier est normalement à voie libre, et les deux autres normalement fermés.

Ces signaux carrés, qui défendent l'accès du tronc commun, sont précédés de disques ou signaux ronds 8<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup>, dont les mâts portent des damiers verts et blancs, qui signalent sur le réseau de l'Ouest l'approche d'une bifurcation ou de signaux carrés normalement à l'arrêt.

Les signaux 8 et 8<sup>a</sup> normalement à voie libre sont reliés entre eux de telle sorte que le signal 8 ne puisse être mis à l'arrêt sans que le signal 8<sup>a</sup> ait été placé préalablement lui-même à l'arrêt :  $\frac{8R}{8^aR}$ .

Les signaux carrés 9 et 10, normalement à l'arrêt, ne peuvent être effacés qu'après que l'on a fermé respectivement les signaux ronds avancés, 9<sup>a</sup> ou 10<sup>a</sup> qui les précèdent :  $\frac{9R}{9^aR}$  et  $\frac{10R}{10^aR}$ .

Les trains venant de Nantes et d'Angers, et auxquels s'adressent les signaux carrés 9 et 10, doivent marquer un arrêt à l'embranchement, avant de franchir ces signaux.

Les enclenchements respectifs que nous venons de signaler entre les signaux carrés 8, 9 et 10, et les signaux

ronds avancés correspondants 8<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup>, étant bien définis, nous avons cru inutile, en vue de simplifier le tableau des enclenchements du poste, d'y faire figurer ces derniers signaux.

Quant aux aiguilles, elles ont été figurées sur le croquis précédent de manière à indiquer la direction pour laquelle elles sont normalement disposées; ainsi l'aiguille 3 est disposée normalement pour donner accès sur la voie II, l'aiguille 6 pour donner accès sur la voie de Châteaubriant, et la jonction 5-5 pour interdire la communication entre les voies de service et le tronc commun.

Ajoutons que les aiguilles 5, 6 et 7 sont munies d'indicateurs de direction.

80. — Examinons maintenant comment, au moyen du tableau complet des enclenchements et du croquis des dispositions de la gare, on peut vérifier si la sécurité est assurée.

Prenons un train partant de l'une des deux voies I et I bis; pour autoriser son départ, il faut ouvrir le signal 1, en renversant son levier. En vertu des enclenchements portés au tableau du § 76 (première ligne) le train trouvera l'aiguille 4 renversée et la jonction 5 normale, bien disposées toutes les deux pour le laisser passer, et de plus empêchant tout mouvement des voies de service vers le tronc commun, enfin les trois signaux 8, 9 et 10 à l'arrêt et interdisant l'accès du tronc commun à tout train venant des directions de Châteaubriant, Nantes et Angers.

Considérons un train venant de Châteaubriant. Pour qu'il puisse entrer en gare, il faut que le signal 8 soit maintenu ouvert, c'est-à-dire normal, ce qui maintient dans leurs positions normales les signaux 1, 9 et 10, attendu que notre tableau des enclenchements (huitième ligne) montre que 8R dégage 1, 9 et 10. Aucun train ne pourra donc partir des voies principales I et I bis, ni arri-

ver de Nantes et d'Angers pendant que le train de Châteaubriant entrera en gare.

L'aiguille 6 sera d'ailleurs normale, c'est-à-dire bien disposée pour le passage du train, puisque l'on a  $\frac{8R}{6D}$ .

c'est-à-dire  $\frac{8N}{6N}$ .

Ayant franchi l'aiguille 6, le train venant de Châteaubriant, après s'être engagé sur le tronc commun, rencontrera l'aiguille 5 qui, si elle est normale, le dirigera vers l'aiguille 4, et, si elle est renversée, vers les voies de service; mais, quand la jonction 5-5 est renversée, le signal carré 2 est à l'arrêt, comme l'indique la cinquième ligne du tableau des enclenchements, et aucun train ne peut alors sortir des voies de service; il suffit que l'une de ces dernières voies soit libre pour recevoir le train arrivant de Châteaubriant; c'est à la gare à prendre les précautions nécessaires à ce sujet, à diriger le train sur celle des voies qui est libre et, s'il n'y en a pas, à prévenir le stationnaire du poste.

Supposons donc que le train venant de Châteaubriant trouve la jonction 5-5 dans sa position normale, il arrivera jusqu'à l'aiguille 4 qui n'a pas de position obligée; l'aiguilleur du poste doit savoir qu'en principe il ne doit pas toucher à cette aiguille pour recevoir un train pair, c'est-à-dire venant de Châteaubriant, de Nantes ou d'Angers, afin que ce train soit dirigé vers l'une des voies II et II bis par l'aiguille 3.

On aurait pu relier l'aiguille 4 au signal 8, qui permet l'accès de la gare à un train pair, venant de Châteaubriant, en établissant l'enclenchement  $\frac{8N}{4N}$  ou  $\frac{8R}{4D}$ ; mais

on se serait privé de la faculté de recevoir, dans certains cas, un train pair sur la voie I bis par exemple, et il convenait, parce qu'on pouvait le faire sans inconvénient,

de conserver cette faculté pour le cas où, en vue des correspondances, quatre trains venant respectivement de Paris, Châteaubriant, Nantes et Angers devaient se trouver simultanément en gare.

Le tronç commun de voie compris entre les aiguilles 5 et 6 donne une entière latitude pour permettre de recevoir les trains qui se présentent en même temps sur les voies qui sont libres ; c'est là une disposition assez fréquente sur le réseau de l'Ouest et qui augmente les ressources de la gare, sans avoir jamais présenté d'inconvénients.

La réception d'un train pair sur l'une des voies impaires I ou I *bis* doit être tenue cependant pour un fait ayant un caractère exceptionnel et qui appelle l'attention du personnel dirigeant de la gare, lequel doit donner à ce sujet au stationnaire du poste toutes les indications nécessaires.

Au contraire, la réception des trains pairs sur l'une ou l'autre des deux voies II et II *bis* est un fait courant ; le stationnaire a besoin d'être informé si l'une ou l'autre de ces deux voies est occupée et, par conséquent, s'il doit s'abstenir d'y diriger aucun train.

A cet effet, deux appareils de correspondance ou de communication manœuvrés de la gare et placés près du poste indiquent au stationnaire de ce poste celle des voies II ou II *bis* qui est occupée ou si elles le sont toutes les deux.

Considérons maintenant un train venant de Nantes : pour qu'il puisse entrer en gare, il faut lui ouvrir le signal 9 et par conséquent renverser le levier de ce signal. Le tableau des enclèchements (neuvième ligne) montre qu'alors les signaux 1, 8 et 10 seront à l'arrêt, que les aiguilles 6 et 7 seront renversées, par suite bien disposées pour le passage du train, qui arrivera ainsi sur le tronç commun dans les conditions indiquées tout à l'heure pour un train venant de Châteaubriant et sur lesquelles il est inutile de revenir.

S'il s'agit d'un train venant d'Angers, il faudra, pour lui

permettre d'entrer en gare, ouvrir le signal 10, et par suite renverser le levier de ce signal : le tableau des enclèchements (dixième ligne horizontale) montre qu'alors les signaux 1, 8 et 9 seront à l'arrêt, que l'aiguille 6 sera renversée, l'aiguille 7 normale, c'est-à-dire toutes deux convenablement disposées pour le passage du train, lequel, arrivé sur le tronç commun, sera, pour le reste de son parcours, soumis aux conditions déjà examinées pour les trains venant de Châteaubriant et de Nantes.

Il nous reste à examiner un dernier mouvement normal, savoir : la sortie des voies de service d'un train gagnant le tronç commun pour être dirigé ensuite sur Châteaubriant, Nantes ou Angers.

Ainsi que nous l'avons vu, un train pair venant de Châteaubriant, Nantes ou Angers, après avoir atteint le tronç commun, peut être dirigé sur les voies de service, en renversant la jonction 5-5 ; mais le tableau des enclèchements (cinquième ligne horizontale) montre que le levier 5 ne peut être renversé qu'autant que l'on a renversé le signal 2, c'est-à-dire mis ce signal à l'arrêt.

Si la situation restait telle, on voit facilement qu'un train ne pourrait passer des voies de service par les aiguilles 5-5 sur le tronç commun, vu qu'il faudrait pour cela renverser les aiguilles 5-5 et préalablement mettre à l'arrêt le signal 2 qui est infranchissable.

Pour permettre la sortie du train, on a prévu entre les leviers intéressés un enclèchement conditionnel, qui permet de rouvrir le signal 2 après avoir renversé la jonction 5-5, si l'on a mis le signal 8 à l'arrêt et maintenu dans la même position les signaux 9 et 10. D'ailleurs, le tableau des enclèchements montre que la jonction 5-5 ne peut être renversée qu'autant que le signal 1 reste normal, c'est-à-dire fermé. Le train qui sort des voies de service ne peut donc en rencontrer aucun autre circulant dans le sens normal.

Je viens de signaler un exemple d'enclenchement entre plus de deux leviers, comme moyen de résoudre des combinaisons particulières auxquelles ne se prêtent pas les enclenchements binaires.

On est souvent obligé d'y recourir, pour permettre les mouvements nécessaires, tout en assurant la sécurité. Ces enclenchements ne peuvent entrer dans nos tableaux d'enclenchements binaires, à la suite desquels on se contente de les mentionner.

Il convient de remarquer, d'ailleurs, que les enclenchements binaires sont de beaucoup les plus nombreux et que les enclenchements ternaires, quaternaires, etc., ne sont que des exceptions, qu'il suffit de mentionner à la suite du tableau des enclenchements binaires.

Ajoutons, pour terminer, que l'on voit indiquée, sur le croquis précédent de la gare de Segré, une aiguille 18, dont il n'a pas été parlé, parce que c'est une aiguille à contrepoids mobile, que les trains impairs ne prennent qu'en talon, qui n'est pas manœuvrée par le stationnaire du poste, mais par les agents de la gare quand leur intervention est nécessaire.

81. — On trouvera que les explications précédentes sont bien longues; si je leur ai donné un certain développement, c'était en vue de faire comprendre par un exemple la portée de la méthode que j'ai été conduit à adopter dans l'étude des enclenchements. L'expérience m'a montré qu'autant l'explication de cette méthode est longue, autant l'application en est facile et sûre; cette application devient en quelque sorte toute mécanique et est à la portée de tout agent intelligent. J'en vais donner d'autres exemples, en restreignant de plus en plus les explications, et le lecteur qui voudra bien examiner ces exemples arrivera vite à lire les tableaux d'enclenchement comme un texte ordinaire.

Nous avons présenté notre tableau des enclenchements

comme étant, en ce qui concerne les enclenchements directs, l'expression d'une étude déjà faite, et nous avons cherché : 1° à en déduire les enclenchements indirects; 2° à vérifier les conditions de sécurité nécessaires.

On est conduit à se demander comment il convient de procéder pour déterminer les enclenchements directs à réaliser, c'est-à-dire pour résoudre le problème inverse du précédent.

82. — Dans ce but on passera en revue les divers mouvements qui peuvent s'exécuter dans la gare, par exemple l'arrivée ou le départ des trains, l'entrée de ces trains sur les voies de service ou leur sortie de ces voies.

Ainsi, dans le cas du poste 2 de Segré qui nous occupe, pour recevoir un train venant de Châteaubriant, il n'est en principe nécessaire de manœuvrer aucun appareil; mais, pour éviter toute collision et toute détérioration des appareils de la voie, il faut que, le signal 8 étant normalement ouvert, on ait :

1N, 6N, 9N, 10N.

Ce qui s'exprime en écrivant que 8R renversé a pour conséquence

1D, 6D, 9D, 10D.

On obtient ainsi la huitième ligne horizontale du tableau d'enclenchements ci-dessus.

De même, pour faire partir de la gare un train vers Châteaubriant, Nantes ou Angers, il faut ouvrir, c'est-à-dire renverser le signal 1, renverser l'aiguille 4 et maintenir l'aiguille 5 normale, enfin mettre à l'arrêt le signal 8 et y maintenir les signaux 9 et 10.

Il faut donc que 1R enclenche :

4R, 5N, 8R, 9N et 10N.

Ces relations donnent immédiatement la première ligne horizontale du tableau des enclenchements.

Lorsque l'on aura ainsi passé en revue, pour chaque appareil, signal ou aiguille, les mouvements que sa position normale ou renversée peut permettre, on sera parvenu à constituer le tableau complet des enclenchements nécessaires qui devront tout d'abord être inscrits au tableau au moyen de grandes lettres comme enclenchements directs, puisque leurs conséquences ne sont pas encore connues.

On reprendra ensuite pour chaque levier l'étude des conséquences des enclenchements inscrits, et on constatera le plus souvent que quelques-uns font double emploi, ce qui conduira à réduire le nombre des enclenchements à réaliser directement, puisque l'étude aura montré que certains d'entre eux sont obtenus indirectement. On substituera alors, dans le tableau pour ces enclenchements indirects, des petites lettres aux grandes, en plaçant au-dessous des petites lettres le numéro ou les numéros des leviers par l'intermédiaire desquels chaque enclenchement indirect est obtenu. Le choix à faire entre les enclenchements directs ou indirects est généralement affaire d'appréciation, car la réduction des enclenchements directs à leur nombre strictement nécessaire est un problème susceptible dans beaucoup de cas de solutions multiples.

A ce sujet, il est difficile d'indiquer des règles générales; on peut pourtant recommander l'observation de la suivante.

Quand deux signaux commandent l'accès d'un même point, s'ils ne peuvent être ouverts en même temps, il n'y aura pas moralement de collision possible au point considéré; mais, si l'on peut enclencher un des signaux avec une aiguille qui empêchera, par la position qu'elle doit forcément prendre quand ce signal est ouvert, l'un

des mouvements d'atteindre le point critique, il est évident qu'à la garantie morale qui repose sur l'observation des signaux on aura substitué une garantie matérielle assurément préférable.

Je vais m'expliquer par un exemple très simple concernant une bifurcation de deux lignes à deux voies.

### Bifurcation de l'Étang-la-Ville (Ouest).

83. — La *fig. 63* représente les dispositions adoptées à l'Étang-la-Ville pour la bifurcation des lignes de Versailles à Saint-Germain et de Versailles à Saint-Cloud

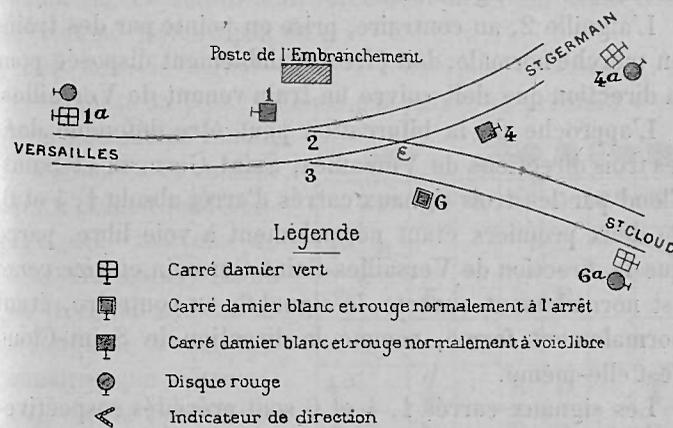


FIG. 63.

(poste n° 3). Toutefois le signal carré 1, que nous avons supposé placé sur le tronçon commun, n'a été figuré que pour faciliter les explications qui suivent; en réalité, il n'existe pas et nous indiquerons plus loin pourquoi on a pu se dispenser de l'établir.

Supposons pour le moment qu'il existe et que la bifurcation soit constituée comme l'indique le croquis.

Les voies sont normalement continues entre Versailles

et Saint-Germain, tandis que les directions de Versailles et de Saint-Cloud ne peuvent être mises en relation qu'en renversant l'aiguille 2 ou l'aiguille 3, suivant le sens du mouvement.

L'aiguille 3, normalement disposée pour la direction de Saint-Germain, est à contrepoids fixe et n'est enclenchée avec aucun appareil ; les trains venant de Saint-Cloud la prennent en talon et doivent la manœuvrer eux-mêmes. La pratique a montré que cela n'a pas d'inconvénient, si ces trains n'abordent l'aiguille qu'à une vitesse réduite, ce qui a lieu en raison de l'obligation imposée à tout mécanicien venant de Saint-Cloud de marquer l'arrêt de sécurité devant le signal 6.

L'aiguille 2, au contraire, prise en pointe par des trains en marche normale, doit être préalablement disposée pour la direction que doit suivre un train venant de Versailles.

L'approche de la bifurcation peut être défendue dans les trois directions de Versailles, Saint-Germain et Saint-Cloud par les trois signaux carrés d'arrêt absolu 1, 4 et 6, les deux premiers étant normalement à voie libre, parce que la direction de Versailles-Saint-Germain et *vice versa* est normalement ouverte, le signal 6, au contraire, étant normalement fermé, comme la direction de Saint-Cloud l'est elle-même.

Les signaux carrés 1, 4 et 6 sont précédés respectivement de disques ronds 1<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> normalement à voie libre et munis d'un damier vert et blanc annonçant l'approche de la bifurcation.

Il ne pourrait se produire de collision entre des trains venant de Versailles, Saint-Germain et Saint-Cloud qu'en deux points que nous appellerons points critiques, savoir : 1° sur l'aiguille 3, entre un train venant de Saint-Germain et un train venant de Saint-Cloud ; pour rendre impossible cette collision, il suffit d'enclencher les signaux 4 et 6 de telle sorte qu'ils ne puissent être simultanément à voie libre ;

2° au point  $\epsilon$  entre un train venant de Saint-Germain et un autre venant de Versailles et se dirigeant sur Saint-Cloud ; on éviterait cette éventualité de collision en enclenchant les signaux 4 et 1 de façon qu'ils ne puissent être placés simultanément à voie libre, mais alors on ne pourrait plus laisser passer en même temps, à la bifurcation, un train de Versailles à Saint-Germain et un train de Saint-Germain à Versailles ; on obtiendra le même résultat, avec une garantie matérielle au lieu d'une garantie morale, en enclenchant le signal 4 avec l'aiguille 2, de telle sorte que cette aiguille soit toujours dans sa position normale, tant que le signal 4 est ouvert, car alors tout train venant de Versailles sera forcément dirigé sur Saint-Germain et ne viendra pas en  $\epsilon$ .

Dès lors, le signal carré 1 n'est plus nécessaire, et l'éventualité la plus fâcheuse qui puisse se produire c'est qu'un mécanicien venant de Versailles et voulant aller à Saint-Cloud s'engage sur la voie de Saint-Germain, alors que le signal indicateur de l'aiguille 2 lui fait connaître que cette aiguille n'est pas faite pour la direction de Saint-Cloud.

Pour ce motif, la Compagnie de l'Ouest n'établit pas le signal 1 dont nous avons momentanément supposé l'existence.

Par suite, les enclenchements de la bifurcation de l'Étang-la-Ville se résument dans le tableau de la fig. 64, où ne figure plus le signal carré 1.

Notre tableau indique que les signaux carrés 4 et 6

	  A	A  	 	 	 		
	1 <sup>a</sup>	2	3	4 <sup>a</sup>	4	6 <sup>a</sup>	6
1 <sup>a</sup>	R						
2		R		$\frac{r}{4}$	R		
3			R				
4 <sup>a</sup>		$\frac{d}{4}$		R	D		$\frac{d}{4}$
4		D		R	R		D
6 <sup>a</sup>						R	D
6				$\frac{r}{4}$	R	R	R

FIG. 64.

L. Courcier

sont enclenchés respectivement avec les signaux ronds qui les précèdent, de façon qu'on soit obligé de renverser le signal rond avant de pouvoir renverser le carré correspondant ; en d'autres termes, le signal rond normal enclenche le carré normal.

Il est facile, en examinant l'itinéraire des trains, de s'assurer qu'il n'y a pas de collision possible à la bifurcation, si les signaux sont respectés. En effet, un train venant de Versailles et allant à Saint-Germain ne s'engage sur l'aiguille 2 qu'autant que le signal indicateur de direction lié à cette aiguille, lui indique qu'elle est normalement placée et, par suite, disposée pour la direction de gauche ; il ne peut, d'ailleurs, rencontrer aucun autre train.

Si le train doit aller à Saint-Cloud, il ne s'engage sur l'aiguille 2 qu'autant que son indicateur de direction fait connaître qu'elle est renversée et, par suite, disposée pour la direction de droite, mais l'aiguille 2 ne peut être renversée qu'autant que le signal 4 a été renversé, c'est-à-dire mis à l'arrêt, ce qui empêche toute collision sur la traversée de voie  $\epsilon$ .

Enfin des trains venant de Saint-Germain et de Saint-Cloud ne peuvent arriver ensemble sur l'aiguille 3, puisque les deux signaux 4 et 6 ne peuvent se trouver simultanément à la voie libre ; notre tableau indique en effet que l'on a  $\frac{4R}{6D}$ , c'est-à-dire  $\frac{4N}{6N}$  ou  $\frac{4 \text{ à voie libre}}{6 \text{ à l'arrêt}}$  et sa réciproque  $\frac{6R}{4R}$  ou  $\frac{6 \text{ à voie libre}}{4 \text{ à l'arrêt}}$ .

J'ai dit plus haut que sur le réseau de l'Ouest on ne fait pas entrer l'aiguille 3 dans l'enclenchement, parce qu'elle ne peut être normalement abordée par les trains qu'en talon et que les trains la déplacent eux-mêmes pour leur passage, si elle n'est pas convenablement disposée à l'avance.

*Bifurcation de Saint-Sulpice (Ouest).*

84. — Examinons encore l'exemple d'une bifurcation entre une ligne à double voie et une ligne à voie unique. Il y a lieu de distinguer deux cas, suivant que la ligne à voie unique se détache à droite ou à gauche de la ligne à

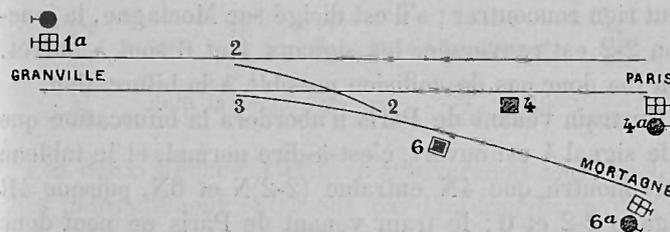


Fig. 65.

double voie, quand on parcourt cette dernière en venant du tronç commun.

La fig. 65 représente le premier cas, celui d'une bifurcation vers la droite, que l'on rencontre à Saint-Sulpice (bifurcation des lignes de Paris à Granville et de Mortagne à Laigle).

Le signal 6 est normalement à l'arrêt, les autres signaux sont normalement à voie libre.

Les enclenchements réalisés sont ceux du tableau de la fig. 66.

Nous n'avons ici qu'un seul enclenchement indirect

	1 <sup>a</sup>	2-2	3	4 <sup>a</sup>	4	6 <sup>a</sup>	6
1 <sup>a</sup>	R						
2-2		R		$\frac{4}{4}$	R		N
3			R				
4 <sup>a</sup>		$\frac{4}{4}$		R	D		
4		D		R	R		D
6 <sup>a</sup>						R	D
6		N			R	R	R

Fig. 66.

E. Courcier

$\frac{(2-2)R}{4^a r}$  et sa réciproque  $\frac{4^a R}{(2-2)d}$  réalisée par l'intermédiaire du levier 4.

Suivons les différents trains qui peuvent passer à la bifurcation.

Un train venant de Granville sera dirigé sur Paris ou Mortagne suivant la position de l'aiguille 2 indiquée au mécanicien par le signal de direction. Si le train va sur Paris, la jonction 2-2 étant dans sa position normale, il ne peut rien rencontrer ; s'il est dirigé sur Mortagne, la jonction 2-2 est renversée, les signaux 4 et 6 sont à l'arrêt. Il n'y a donc pas de collision possible à la bifurcation.

Un train venant de Paris n'abordera la bifurcation que si le signal 4 est ouvert, c'est-à-dire normal, et le tableau nous montre que 4N entraîne (2-2)N et 6N, puisque 4R dégage 2-2 et 6 ; le train venant de Paris ne peut donc rencontrer ni un train venant de Granville, que l'aiguille 2 dirigerait sur Paris, ni un train venant de Mortagne, puisque le signal 6 est N, c'est-à-dire fermé.

Enfin un train venant de Mortagne ne passera à la bifurcation que si on lui ouvre le signal 6 en le renversant, et le tableau montre que l'on a alors 4R et (2-2)N ; comme dans le cas précédent, un train venant de Granville serait dirigé sur Paris. En outre, un train venant de Paris serait arrêté par le signal 4 qui est fermé ; le train de Mortagne franchirait donc librement la bifurcation, en manœuvrant à l'anglaise l'aiguille 3 qui est isolée et normalement disposée pour la direction de Paris.

On a établi entre les signaux carrés et les signaux ronds qui les précèdent les enclenchements ordinaires :

$$\frac{4R}{4^a R} \quad \text{et} \quad \frac{6R}{6^a R} \quad \text{ou réciproquement} \quad \frac{\text{signal rond N}}{\text{carré N}}$$

Quant au signal 1<sup>a</sup>, il n'entre pas dans l'enclenchement et ne sert qu'à couvrir un train arrêté au signal de direc-

tion de l'aiguille 2, quand la direction qu'il doit suivre ne lui est pas donnée.

L'aiguille 3 est aussi en dehors de l'enclenchement, et c'est pour cela que la ligne horizontale et la colonne verticale affectées à cette aiguille ne renferment aucune indication ; mais on pourrait la faire entrer dans l'enclenchement, de telle sorte qu'elle fût toujours convenablement disposée à l'avance pour le passage des trains. Les enclenchements à établir seraient les suivants :

$$\begin{array}{l} \frac{4N}{3N}, \quad \text{ou} \quad \frac{4R}{3D} \quad \text{dont la réciproque est} \quad \frac{3R}{4R}, \\ \frac{6R}{3R} \quad \text{dont la réciproque est} \quad \frac{3R}{6D} \quad \text{ou} \quad \frac{3N}{6N}. \end{array}$$

Les deux signaux 4 et 6 se trouveraient ainsi enclenchés indirectement entre eux par l'intermédiaire de l'aiguille 3, de façon à ne pouvoir être ouverts simultanément, et il n'y aurait plus lieu de les enclencher directement.

#### Bifurcation de Rouxménil (Ouest).

85. — Examinons maintenant le cas d'une bifurcation d'une ligne à deux voies avec une ligne à voie unique placée à gauche de la précédente pour un observateur qui parcourt la première en quittant le tronc commun.

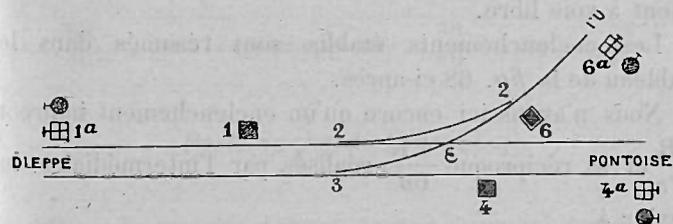


FIG. 67.

C'est le cas de la fig. 67, qui représente en substance

les dispositions adoptées à la gare de Rouxménil, pour la bifurcation des lignes de Dieppe à Pontoise et à Eu.

Ici on ne peut plus se dispenser de placer un signal carré sur le tronc commun, comme on pouvait le faire dans le cas précédent, où la branche à voie unique était à droite de la branche à double voie. Il y a intérêt à se bien rendre compte de cette différence.

Dans le cas précédent, un train venant de Granville pouvait toujours s'engager dans la direction de Paris s'il devait la suivre et si le signal indicateur de direction de l'aiguille 2 lui faisait connaître que cette direction était donnée en même temps qu'aurait passé à la bifurcation un train venant soit de Paris, soit de Mortagne.

Dans le cas que nous examinons maintenant, il n'en est plus ainsi; la figure précédente montre que, si un train venant d'Eu passe à la bifurcation, on ne peut y laisser arriver en même temps un train venant de Dieppe et dirigé sur Pontoise, ce dernier doit donc être arrêté, quelle que soit la position de l'indicateur de direction de l'aiguille 2; et, pour commander l'arrêt, le signal carré n° 1 devient indispensable.

Suivant la disposition en usage sur le réseau de l'Ouest, les directions de Dieppe et de Pontoise sont normalement ouvertes, tandis que la direction d'Eu est normalement fermée, les trois disques à distance sont normalement à voie libre.

Les enclenchements établis sont résumés dans le tableau de la *fig.* 68 ci-après.

Nous n'avons ici encore qu'un enclenchement indirect  $\frac{6R}{4^a}$  et sa réciproque  $\frac{4^aR}{6d}$ , réalisés par l'intermédiaire du levier 4.

En suivant l'itinéraire des trains, on s'assure facilement que la sécurité est assurée.

On remarquera que l'aiguille 3 n'entre pas dans le sys-

tème d'enclenchement, c'est une aiguille isolée qui n'est pas manœuvrée du poste et que les trains manœuvrent à l'anglaise, quand il y a lieu, en l'abordant par le talon;

	  	J	A	  	  			
	1 <sup>a</sup>	1	2.2	3	4 <sup>a</sup>	4	6 <sup>a</sup>	6
1 <sup>a</sup>	R	D						
1	R	R						D
2.2			R				R	N
3				R				
4 <sup>a</sup>					R	D		$\frac{d}{4}$
4					R	R		D
6 <sup>a</sup>			D				R	D
6		R	N		$\frac{r}{4}$	R	R	R

*T. Courties*

FIG. 68.

on pourrait enclencher cette aiguille avec les signaux 4 et 6 au moyen des dispositions :

$$\frac{4N}{3N} \quad \text{ou} \quad \frac{4R}{3D} \quad \text{dont la réciproque est} \quad \frac{3R}{4R}$$

et

$$\frac{6R}{3R} \quad \text{dont la réciproque est} \quad \frac{3R}{6D} \quad \text{ou} \quad \frac{3N}{6N}$$

*Poste Saxby de Givet (Est).*

86. — Je me suis surtout occupé jusqu'ici des enclenchements à établir aux bifurcations les plus simples, telles que celles que l'on rencontre en pleine voie; je crois utile de donner maintenant un exemple d'une bifur-

cation dont les dispositions sont plus complexes, et dont le poste, placé à la sortie d'une gare, doit manœuvrer, en dehors des appareils de la bifurcation, un certain nombre de signaux ou d'aiguilles appartenant à la gare elle-même.

Je vais, à cet effet, examiner les dispositions du poste (système Saxby) établi à Givet à la bifurcation des lignes à voie unique qui conduisent à Namur et à Charleroi.

L'exemple est particulièrement intéressant, parce qu'il comporte normalement des mouvements à contre-voie qui ont exigé des mesures spéciales. Je profiterai d'ailleurs de cet exemple pour indiquer d'une façon complète la méthode à suivre en vue de rechercher tous les enclenchements indirects résultant des enclenchements directs matériellement réalisés.

Indiquons d'abord les dispositions des appareils placés dans les dépendances du poste Saxby que nous nous proposons d'étudier (Voir Pl. VI).

On veut avoir la possibilité de faire entrer directement sur les voies de garage impaires les trains venant de Namur et de Charleroi; ces trains circuleront à contre-voie depuis l'aiguille 12 ou l'aiguille 14 jusqu'à ce qu'ils atteignent l'aiguille 17 placée sur la voie principale I et par laquelle ils seront dirigés sur les voies de garage impaires.

C'est pour ce motif que les signaux carrés (2-3) et (5-6) placés sur les branches de Namur et de Charleroi, sont munis de deux leviers de manœuvre. Ces signaux carrés sont respectivement ouverts par leurs leviers 2 ou 5, quand les trains dont ils permettent l'entrée en gare doivent être dirigés sur la voie principale II, et par leurs leviers 3 ou 6, quand ces trains doivent être dirigés sur les voies de garage impaires.

On ne peut d'ailleurs ouvrir l'un quelconque des signaux 2-3 et 5-6 au moyen de l'un ou de l'autre de ses leviers

qu'après avoir tourné à l'arrêt le disque ou signal rond qui le précède.

Le signal carré 25-26 est aussi muni de deux leviers de manœuvre; on ouvre le signal pour autoriser le départ d'un train de la voie principale I, au moyen du levier 25 ou du levier 26, suivant que ce train doit être dirigé sur Charleroi ou sur Namur.

Les doubles leviers, et en général les leviers multiples, au moyen desquels on peut ouvrir un signal carré, ont pour but d'assurer à l'avance la position convenable des aiguilles sur l'itinéraire que le train doit suivre.

Ainsi, si l'on veut faire partir un train venant de la voie I, il convient, avant d'ouvrir le signal 25-26, d'avoir l'assurance que les deux jonctions 19-19 et 17-17 sont dans leurs positions normales; à cet effet, on a prévu les enclenchements

$$\frac{25R}{17N} \quad \frac{25R}{19N}$$

et aussi

$$\frac{26R}{17N} \quad \frac{26R}{19N}$$

Dans ces conditions la voie est préparée pour le passage du train jusqu'à l'aiguille 16, que ce train doive être dirigé sur Namur ou Charleroi; non seulement les jonctions 17-17 et 19-19 sont convenablement placées, ce qui assure leur conservation, mais, de plus, elles sont disposées de façon à ce qu'aucun mouvement ne puisse venir des voies de garage paires ou impaires engager la voie 1 sur le parcours du train considéré.

L'aiguille 16 devra être normale ou renversée à l'avance; si le train va à Charleroi, il faudra que l'aiguille 14 soit aussi renversée à l'avance, en vue de ménager ces aiguilles et les appareils qui les manœuvrent à distance; ce sont là des liaisons ou enclenchements de conservation

établis dans le but d'éviter la détérioration du matériel de la voie.

87. — Examinons maintenant en détail les dispositions prévues au poste, en reproduisant fidèlement l'étude à laquelle j'ai dû me livrer, pour reconnaître si la sécurité était complètement assurée.

Un projet d'enclenchement comporte essentiellement deux documents (\*):

1° Un plan indiquant la nature, l'emplacement et la position normale des appareils, aiguilles et signaux, leur groupement ou leur conjugaison, quand plusieurs sont manœuvrés par un même levier. Les indications de ce plan peuvent être résumées dans un croquis schématique avec une nomenclature des appareils contenant l'indication de leurs positions normales ;

2° Un tableau A faisant connaître les enclenchements directs, c'est-à-dire ceux que l'on se propose de réaliser matériellement ; ce tableau sera appelé le projet d'enclenchements. Nous donnons ce projet établi, en ce qui concerne le poste de Givet, dans la forme des projets d'enclenchements du système Saxby et tel qu'il est présenté par la Compagnie de l'Est.

C'est au moyen de ces documents que nous établissons le tableau complet B des enclenchements, tant directs qu'indirects, lequel fait connaître, lorsqu'un levier occupe sa position normale ou sa position renversée, les positions que doivent forcément occuper un ou plusieurs autres leviers du poste avec lesquels il est relié soit directement, soit indirectement.

(\*) Voir les tableaux de la Pl. VI.

Ces tableaux ont été dressés, sur ma demande, par M. Hardy, conducteur des Ponts et Chaussées attaché à la Direction du Contrôle des chemins de fer de l'Est, qui a étudié avec beaucoup d'intelligence, sous la direction de M. Massieu, tous les projets d'enclenchements présentés dans ces dernières années par la Compagnie de l'Est.

88. *Tableau A.* — Examinons la constitution du tableau A ; il comprend essentiellement huit colonnes verticales dont les quatre premières, comme nous l'indiquons tout à l'heure, se rapportent toutes aux enclenchements binaires simples que nous nous proposons tout d'abord d'étudier. Les quatre dernières colonnes ne concernent que le verrouillage des aiguilles et, par suite, des enclenchements binaires doubles. On ajoute parfois à gauche du tableau une colonne donnant la position normale des signaux.

Une ligne horizontale du tableau A est affectée aux enclenchements de chacun des leviers du poste avec tous les autres leviers auxquels il est relié directement. Dans un but d'ordre on a été conduit à placer en tête du tableau les leviers des signaux qui autorisent les mouvements dans un sens, et à la fin du tableau les leviers des signaux qui autorisent les mouvements de sens contraire. Dans l'intervalle on a placé les leviers des aiguilles isolées ou conjuguées, ainsi que les leviers des blocs ou taquets d'arrêt, et ceux des verrous, lorsque ces derniers sont manœuvrés par des leviers spéciaux ; on réserve d'ailleurs en pratique des espaces, c'est-à-dire des places pour les leviers nouveaux que le poste pourrait comporter ultérieurement.

Dans la première colonne du tableau est inscrit, sur la ligne horizontale qui lui est affectée, le numéro du levier que l'on veut spécialement considérer dans ses liaisons ou enclenchements directs avec les autres leviers du poste. Prenons pour exemple le levier n° 14 et voyons la signification des indications des colonnes suivantes, en expliquant le sens des termes qui y sont employés.

Dans la deuxième colonne on a porté *les leviers enclenchés normalement et qui sont dégagés par ceux de la première colonne renversés*, par exemple les leviers 2, 6 et 25 sur la ligne horizontale à gauche de laquelle a été inscrit le levier 14.

Cela veut dire, en raisonnant sur le levier 14, que, tant que le levier 14 est normal, on ne peut renverser aucun des leviers 2, 6 et 25, autrement dit que, pour rendre ces derniers leviers libres, il faut d'abord renverser le levier 14.

Ces enclenchements peuvent se représenter par les symboles suivants :

$$\frac{\text{Lever de la col. 1 (N)}}{\text{Lever de la col. 2 (N)}}, \quad \frac{14N}{2N}, \quad \frac{14N}{6N}, \quad \frac{14N}{25N},$$

symboles auxquels on peut substituer les suivants qui leur sont équivalents par convention

$$\frac{14R}{2D}, \quad \frac{14R}{6D}, \quad \frac{14R}{25D}.$$

Dans la troisième colonne on a mentionné *les leviers libres normalement et qui sont enclenchés par ceux de la première colonne renversés*, soit le levier 15 sur la ligne horizontale affectée aux relations du levier 14.

Par là il faut entendre, en ce qui concerne le levier 14, que ce levier ne peut pas être renversé, sans que le levier 15 mentionné à la troisième colonne soit normal et, réciproquement, que le levier 14 étant renversé immobilise le levier 15 dans sa position normale. Cet enclenchement peut s'écrire symboliquement

$$\frac{\text{Lever de la col. 1 (R)}}{\text{Lever de la col. 3 (N)}}, \quad \frac{14R}{15N}.$$

Dans la quatrième colonne on a porté *les leviers renversés et enclenchés par ceux de la première colonne renversés*.

Cela veut dire, en prenant toujours pour exemple le levier 14, que ce levier 14 ne peut être renversé sans que le levier 16 porté à la quatrième colonne soit lui-

même renversé :

$$\frac{\text{Lever de la col. 1 (R)}}{\text{Lever de la col. 4 (R)}}, \quad \frac{14R}{16R}.$$

Toutes les liaisons du levier 14 avec les autres leviers du poste peuvent donc se représenter par les formules

$$\frac{14R}{2D}, \quad \frac{14R}{6D}, \quad \frac{14R}{25D}, \quad \frac{14R}{15N}, \quad \frac{14R}{16R}.$$

Le tableau A contient du reste l'indication des relations réciproques des précédentes, comme nous allons l'expliquer.

Les enclenchements

$$\frac{14R}{2D}, \quad \frac{14R}{6D}, \quad \frac{14R}{25D},$$

équivalent à

$$\frac{14N}{2N}, \quad \frac{14N}{6N}, \quad \frac{14N}{25N},$$

et ont pour réciproques

$$\frac{2R}{14R}, \quad \frac{6R}{14R}, \quad \frac{25R}{14R}.$$

Ces réciproques sont inscrites, comme on le reconnaît facilement dans la quatrième colonne, aux lignes horizontales 2, 6 et 25 du tableau.

L'enclenchement  $\frac{14R}{15N}$  inscrit à la troisième colonne du tableau a pour réciproque  $\frac{15R}{14N}$ , et cette réciproque, ayant la même forme que l'enclenchement considéré, se trouve naturellement dans la même troisième colonne à la ligne horizontale 15.

Enfin l'enclenchement  $\frac{14R}{16R}$  inscrit dans la quatrième

colonne a pour réciproque  $\frac{16N}{14N}$  ou  $\frac{16R}{14D}$ , et cette réciproque est inscrite dans la deuxième colonne à la ligne 16.

On voit donc qu'un enclenchement qui figure à la deuxième colonne du tableau a sa réciproque écrite dans la quatrième colonne, et réciproquement, et qu'un enclenchement qui figure dans la troisième colonne a sa réciproque écrite dans cette même troisième colonne.

Dans la cinquième colonne on a inscrit *les leviers enclenchés ou normaux ou renversés, par ceux de la première colonne renversés*. Ainsi sur la ligne horizontale correspondant au levier 13 se trouve dans la cinquième colonne le levier 14, ce qui signifie que 13 renversé enclenche 15 dans ses deux positions

$$\frac{\text{Levier de la col. 1 (R)}}{\text{Levier de la col. 5 (N et R)}} \quad \frac{13R}{14N \text{ et } 14R}$$

Cette colonne est donc réservée aux enclenchements binaires doubles produits par un levier renversé.

Dans la sixième colonne on a inscrit *les leviers enclenchés ou normaux ou renversés, par ceux de la première colonne normaux*; cette colonne est réservée aux enclenchements binaires doubles produits par un levier normal

$$\frac{\text{Levier de la col. 1 (N)}}{\text{Levier de la col. 6 (N et R)}}$$

Dans la septième colonne on a inscrit *les leviers enclenchés normalement pendant la course des leviers de la première colonne*; sur la ligne horizontale 14 se trouve le levier 13, ce qui signifie que  $\frac{14 \text{ pendant la course}}{13N}$ , réci-

proque de l'enclenchement binaire double  $\frac{13R}{14N \text{ et } 14R}$ . Ainsi, un enclenchement binaire double qui figure à la colonne 5 a sa réciproque dans la colonne 7 et vice versa.

De même, un enclenchement binaire double qui figure à la colonne 6 a sa réciproque dans la colonne 8 intitulée: *leviers renversés et enclenchés pendant la course des leviers de la première colonne*

$$\frac{\text{Levier de la col. 1 pendant sa course}}{\text{Levier de la col. 7 (N)}},$$

$$\frac{\text{Levier de la col. 1 pendant sa course}}{\text{Levier de la col. 8 (R)}}.$$

89. *Tableau B.* — Maintenant que nous avons expliqué le sens des indications portées au tableau A (abstraction faite pour le moment des enclenchements conditionnels indiqués au bas de ce tableau), nous allons faire connaître comment on établit le tableau B, lequel est destiné à récapituler non seulement les enclenchements directs matériellement réalisés entre deux leviers quelconques, mais encore les enclenchements indirects établis entre ces deux mêmes leviers par l'intermédiaire d'autres leviers du poste.

Le tableau B, dont nous avons déjà donné des spécimens simples, est à double entrée comme une table de multiplication; sur une ligne horizontale en tête du tableau, et dans une colonne verticale à gauche, sont inscrits les numéros de tous les leviers du poste dans le même ordre, et, pour plus de clarté, on adopte autant que possible l'ordre arithmétique.

En dehors de cette ligne horizontale et de cette colonne, le tableau comprend autant de lignes et de colonnes qu'il y a de leviers installés dans le poste; on peut même, pour faciliter les lectures, reproduire les numéros des leviers sur une ligne horizontale au bas du tableau et dans une colonne à droite.

Dans le même but, on représente sur une ligne horizontale et au-dessus de chaque levier les appareils que ce levier manœuvre, soit par une figure conventionnelle, soit par les abréviations suivantes :

A<sup>no</sup>, une aiguille isolée ;

J, une jonction formée de deux ou plusieurs aiguilles conjuguées ;

V, un verrou.

Une ligne horizontale est affectée à la représentation des enclenchements directs ou indirects qui intéressent un levier déterminé.

Prenons toujours pour exemple le levier 14 et considérons-le dans sa position renversée en écrivant à cet effet la lettre R dans la case qui se trouve à la rencontre de la quatorzième ligne horizontale du tableau et de sa quatorzième colonne verticale.

Le tableau A nous indique que, lorsque le levier 14 est renversé, les leviers 2, 6 et 25 sont dégagés, c'est-à-dire rendus libres ; écrivons en conséquence les lettres D sur la quatorzième ligne dans les colonnes 2, 6 et 25.

Le tableau A nous indique, en outre, que 14 ne peut être renversé sans que 15 soit normal et 16 renversé ; écrivons donc sur la quatorzième ligne horizontale N dans la colonne 15 et R dans la colonne 16, et nous aurons transcrit sur la quatorzième ligne du tableau B toutes les relations d'enclenchements binaires qui se trouvent sur la quatorzième ligne du tableau A.

Il est convenu que nous employons, pour faire cette transcription, de grandes lettres pour indiquer qu'il s'agit de représenter les enclenchements directs du levier 14.

Faisons la même chose pour tous les leviers du poste, et le tableau B renfermera toutes les indications du tableau A.

Remarquons que chaque levier que l'on considère dans ses relations avec les autres, est supposé dans sa position renversée, représentée par la lettre R dans la ligne horizontale et dans la colonne verticale affectées à ce levier, de sorte que toutes les lettres R dont nous venons de parler se trouveront sur la diagonale qui traverse le tableau B de gauche en haut à droite en bas.

La réciprocité des enclenchements se traduira, comme nous l'avons déjà indiqué, par la symétrie par rapport à cette diagonale, des cases où sont placées les lettres qui représentent chaque enclenchement et sa réciproque, étant rappelé que toute lettre N a pour symétrique une autre lettre N, toute lettre R une lettre D, ou inversement.

Si nous désignons une case du tableau par le numéro de la ligne horizontale suivi du numéro de la colonne verticale où elle se trouve, on reconnaît, en prenant toujours pour exemple le levier 14, et ceux avec lesquels il est enclenché directement, que, aux lettres D des cases 14-2, 14-6, 14-25 correspondent comme symétriques des lettres R dans les cases 2-14, 6-14, 25-14, qu'à la lettre N dans la case 14-15 correspond une lettre N dans la case 15-14, qu'à la lettre R dans la case 14-16 correspond une lettre D dans la case 16-14.

La considération de cette symétrie, qui est du même genre que celle dont jouit une table de multiplication, fournit un moyen ou de découvrir des erreurs, ou de compléter les indications du tableau, quand le projet que l'on a à étudier ne fait pas connaître les réciproques de tous les enclenchements.

Notre tableau B indique les liaisons d'un levier que l'on considère spécialement, quand il est dans sa position renversée, avec les autres leviers du poste auxquels il est relié ; on pourrait donc être tenté de croire qu'il faudrait un nouveau tableau pour indiquer les liaisons du même levier considéré, quand il est dans sa position normale, avec les autres leviers du poste.

Ce second tableau n'est nullement nécessaire, et nous allons montrer que le premier, c'est-à-dire le tableau B, suffit à tout.

Revenons, à titre d'exemple, au levier 14.

Quand il est renversé, le levier 15 est forcément nor-

mal et le levier 16 forcément renversé. De plus, 14 étant renversé, dégage, c'est-à-dire rend libres, les leviers 2, 6 et 25 qui ne l'étaient pas quand 14 était normal; 14 renversé n'impose donc aux leviers 2, 6 et 25 aucune position particulière. Mais, lorsque 14 est normal, il impose aux leviers 2, 3 et 25 la position normale.

De là résulte qu'il y a deux lectures à faire de chaque ligne horizontale du tableau B. Dans la première lecture de la ligne affectée au levier 14, par exemple, on supposera ce levier renversé et on relèvera les numéros des leviers qui doivent être alors ou normaux ou renversés, sans avoir égard à ceux qui sont dégagés, puisque ceux-ci, rendus libres, n'ont pas de position obligatoire; on se bornera à relever que, 14 étant renversé, le levier 15 est normal et le levier 16 renversé, c'est-à-dire que l'on a symboliquement

$$\frac{14R}{15N} \quad \text{et} \quad \frac{14R}{16R}$$

Dans la seconde lecture on considérera le levier 14 comme étant dans sa position normale; cette position ne peut avoir d'autre effet que d'entraîner, pour certains leviers du poste, l'obligation de la position normale, vu que tous les leviers d'un poste doivent toujours pouvoir être placés simultanément dans leur position normale et que, par suite, la position normale de l'un d'eux ne saurait imposer à un autre la position renversée.

Or, quand un levier, 14 par exemple, étant normal, impose à d'autres leviers déterminés la position également normale, il faut que ledit levier 14 soit renversé pour que lesdits autres leviers soient rendus libres ou dégagés et puissent être renversés à leur tour.

En conséquence, dans la deuxième lecture de la ligne horizontale du tableau qui se rapporte au levier 14, nous n'aurons pas égard aux cases où sont inscrites des lettres N

et R, mais seulement à celles où figure la lettre D; nous lirons

$$\frac{14R}{2D}, \quad \frac{14R}{6D}, \quad \frac{14R}{25D}$$

et nous traduirons par

$$\frac{14N}{2N}, \quad \frac{14N}{6N}, \quad \frac{14N}{25N}$$

ce qui voudra dire que, tant que le levier 14 est dans sa position normale, les leviers 2, 6 et 25 sont aussi forcément dans leur position normale.

Je pense que ces explications seront facilement comprises et que l'on se rendra sans difficulté compte de la signification des liaisons indiquées en grandes lettres sur le tableau B.

Réduit à ces indications, le tableau B ne ferait d'ailleurs que reproduire sous une autre forme le tableau A et n'indiquerait, comme lui, que les enclenchements directs que l'on se propose de réaliser matériellement entre les leviers du poste.

En substituant le tableau B au tableau A, j'ai eu pour but d'assurer une place simple et rationnelle aux enclenchements indirects qui peuvent exister entre les divers leviers comme conséquence des enclenchements directs, place que n'offrait pas le tableau A. J'ai eu aussi en vue d'arriver à indiquer sur la ligne horizontale affectée à chaque levier et pour chaque position de ce levier toutes les positions que doivent forcément occuper les autres leviers du poste, que ces positions obligatoires résultent, d'ailleurs, d'enclenchements directs ou indirects.

90. — Indiquons maintenant comment on pourra procéder à la recherche des enclenchements indirects, de manière à avoir l'assurance de n'en oublier aucun.

On peut, à cet effet, se servir comme point de départ soit des indications du tableau A, soit de celles du

tableau B ; l'opération sera équivalente dans les deux cas, comme on peut s'en assurer facilement, mais le tableau B se prêtera seul d'une façon claire et méthodique à l'inscription des résultats.

Prenons toujours pour exemple le levier 14 et considérons-le dans sa position renversée.

Les tableaux A et B indiquent l'un et l'autre

$$\frac{14R}{15N} \quad \frac{14R}{16R}$$

Cherchons si la position normale du levier 15 entraîne des positions obligatoires pour d'autres leviers : à la ligne 15 nous lisons  $\frac{15R}{5D}$ , ce qui équivaut à  $\frac{15N}{5N}$  ; on aura donc forcément 5N quand 14 sera renversé.

La position 5N n'a pas de conséquence, parce que l'on voit à la cinquième ligne des tableaux que le levier 5 renversé n'en dégage aucun autre.

Passons à la recherche des enclenchements indirects que peut donner l'enclenchement direct  $\frac{14R}{16R}$  ; nous lisons à

la ligne 16 que  $\frac{16R}{12N}$  et, si nous nous reportons à la ligne 12,

nous y lisons que  $\frac{12N}{3N}$ ,  $\frac{12N}{26N}$ , parce que 12R dégage 3 et 26.

Aux lignes 3 et 26 nous lisons que 3R et 26R ne dégagent aucun levier, que, par suite, les positions normales de 3 et 26 n'ont pas de conséquences.

La série des enclenchements indirects résultant des enclenchements directs du levier 14 avec les autres leviers du poste est donc épuisée, et nous pouvons écrire tous les résultats acquis de la manière suivante :

$$14R \quad \left[ \begin{array}{l} 15N \\ 16R \end{array} \right. \quad \left[ \begin{array}{l} 5n \\ 12n \end{array} \right. \quad \left[ \begin{array}{l} 3n \\ 26n \end{array} \right.$$

Les enclenchements directs du levier 14 sont établis matériellement avec les leviers 15 et 16, nous les indiquons par de grandes lettres ; les autres enclenchements sont la conséquence des précédents et, par suite, indirects, et nous les indiquons par de petites lettres.

Nous avons maintenant à reporter à la ligne 14 de notre tableau B l'indication de ces enclenchements indirects :

$$5n, 12n, 3n, 26n.$$

En vue d'indiquer tout ce que notre tableau comporte, nous écrivons, au-dessous des lettres *n* ainsi reportées sur la ligne 14 :

dans la colonne 5, le chiffre 15, pour indiquer que 14 est enclenché avec 12 par l'intermédiaire de 16 ;

dans les colonnes 3 et 26, les chiffres 16-12 pour indiquer que 14 est enclenché avec 3 et 26 par l'intermédiaire de 16 et de 12.

Si on examine, aux lignes où elles sont inscrites, les réciproques de ces enclenchements indirects, on retrouvera les indications, mais en ordre inverse, des mêmes leviers par l'intermédiaire desquels ces réciproques sont obtenues, de sorte que notre tableau sera encore symétrique par rapport à sa diagonale non seulement en ce qui concerne les enclenchements indirects, mais encore en ce qui concerne les leviers par l'intermédiaire desquels ces derniers enclenchements indirects sont obtenus.

Le levier 14 vient de nous offrir un exemple d'enclenchement indirect établi par l'intermédiaire d'un ou de deux leviers ; un pareil enclenchement peut se trouver établi par l'intermédiaire d'un plus grand nombre de leviers. Notre tableau B en offre des exemples ; ainsi le levier 6 est enclenché avec le levier 3 par l'intermédiaire des leviers 14, 16, 12, et réciproquement le levier 3 est enclenché avec le levier 6 par l'intermédiaire des leviers 12, 16, 14.

91. — *Tableau de dépouillement des enclenchements.*  
— Le tableau B n'offre un intérêt complet qu'à la condition qu'on y ait fait figurer tous les enclenchements directs ou indirects ; il importe donc de rechercher ces derniers enclenchements par une méthode sûre, qui n'en laisse échapper aucun, et dans ce but l'expérience m'a montré qu'il était utile d'établir un tableau auxiliaire ou d'étude, qui puisse permettre de donner ce résultat et qui ensuite n'a pas besoin de rester joint au tableau B, devenu complet en toute certitude.

Ce tableau auxiliaire n'a donc que l'utilité d'un brouillon, mais cette utilité est réelle, car il évite des oublis. On l'établit pour chaque levier dans la forme que nous avons déjà indiquée pour le levier 14 et que nous reproduisons ci-après :

$$14R \quad \left[ \begin{array}{l} 15N \\ 16R \end{array} \right. \quad \left[ \begin{array}{l} 5n \\ 12n \end{array} \right. \quad \left[ \begin{array}{l} 3n \\ 26n \end{array} \right.$$

Nous donnons ce tableau auxiliaire pour tous les leviers du poste Saxby placé à Givet à la bifurcation des lignes de Namur et de Charleroi ; il ne nous paraît devoir donner lieu, puisque nous venons d'en indiquer la forme et la signification, qu'à quelques remarques qui ne seront pas d'ailleurs inutiles.

92. — Il peut arriver qu'un même enclenchement indirect soit obtenu par l'intermédiaire de plusieurs groupes de leviers ; ainsi le levier 3 est enclenché avec le levier 15 d'un côté par l'intermédiaire du levier 17, et d'un autre côté par l'intermédiaire des leviers 12 et 16.

De même, le levier 3 est enclenché avec le levier 5 par l'intermédiaire des leviers 17 et 15 et aussi par l'intermédiaire des leviers 12, 16 et 15.

Il n'en résulte pas qu'il y ait surabondance de liaisons, car, pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que cette surabon-

dance existât dans les enclenchements directs ; la seule chose qui importe c'est que les enclenchements indirects, réalisés entre deux leviers par deux ou plusieurs combinaisons à la fois, ne soient pas contradictoires.

En ce qui concerne la surabondance qui pourrait se rencontrer dans les enclenchements directs, les tableaux A et B en offrent un cas, que nous avons laissé subsister à titre d'exemple et que nous allons corriger maintenant après avoir montré comment notre méthode d'étude le révèle.

Si nous nous reportons aux enclenchements du levier 2, tels qu'ils sont déduits sur le tableau de dépouillement des enclenchements, nous voyons sans difficulté que ce levier n'a pas besoin d'être enclenché directement avec le levier 16, puisque cet enclenchement est réalisé indirectement par l'intermédiaire du levier 14, nous supprimerons donc cet enclenchement  $\frac{2R}{16R}$  à la ligne 2 du tableau A, et sa réciproque  $\frac{16R}{2D}$  à la ligne 14 du même tableau.

En transportant l'enclenchement direct  $\frac{2R}{16R}$  et sa réciproque du tableau A au tableau B, nous avons dû écrire une lettre R dans la case 2-16 et une lettre D dans la case 16-2.

Lorsqu'ensuite nous avons retrouvé le même enclenchement réalisé indirectement par l'intermédiaire du levier 14, nous aurions été conduits à l'écrire, ainsi que sa réciproque au moyen de petites lettres dans les mêmes cases qui se trouvaient déjà occupées par les grandes ; nous avons laissé subsister ces grandes lettres et inscrit au dessous le numéro du ou des leviers par l'intermédiaire desquels l'enclenchement est déjà réalisé, ce qui veut dire que l'on devra ne pas réaliser directement l'enclenchement  $\frac{2R}{16R}$ , parce que

cela est inutile, cet enclenchement étant déjà obtenu autrement.

93. — Faisons encore une remarque à titre d'exemple. Nous avons indiqué, dans notre tableau de dépouillement, pour qu'il fût aussi complet que possible, les relations de chaque levier considéré avec les autres leviers du poste non seulement quand il est dans sa position renversée, mais encore lorsqu'il est dans sa position normale; or on pourrait ne pas écrire à ce tableau ces dernières relations, mais le tableau B, après qu'on y aurait transporté toutes les indications du tableau de dépouillement, ne serait plus complet ni symétrique par rapport à sa diagonale, parce qu'on n'y aurait pas inscrit toutes les réciproques. La symétrie obligatoire du tableau B permettrait, il est vrai, de le compléter à cet égard.

Si, au contraire, toutes les relations et leurs réciproques sont transcrites au tableau B, la symétrie indispensable de ce dernier, telle que nous l'avons définie, fournit un moyen de contrôler son exactitude.

94. — Lorsque l'on a établi complètement le tableau B, que l'on possède un croquis des appareils et la nomenclature de leurs positions normales, on a tout ce qu'il faut pour examiner si les divers mouvements qui s'exécutent normalement dans une gare peuvent y être opérés en toute sécurité. C'est à cette étude que servent les documents que nous venons d'indiquer, et nous allons maintenant faire connaître comment on peut y procéder.

La méthode consiste à suivre l'itinéraire des mouvements; or ces mouvements, en tant qu'ils intéressent les voies principales d'une gare, sont autorisés ou interdits par la position de certains signaux, de certaines aiguilles, de taquets ou blocs d'arrêt.

Si, par exemple, pour autoriser un mouvement, il faut renverser le levier d'un signal ou d'une aiguille, on suivra le mouvement, en portant son attention sur la ligne

horizontale du tableau B qui fait connaître toutes les liaisons du levier de l'aiguille ou du signal avec les autres leviers du poste et de façon à s'assurer que le mouvement peut se faire en toute sécurité.

Parmi ces liaisons ou enclenchements soit directs, soit indirects, on en trouvera parfois qui n'intéressent pas le mouvement que l'on examine. Le plus souvent ce seront des enclenchements indirects résultant d'enclenchements directs qui sont nécessaires pour la sécurité d'autres mouvements; quelquefois ce seront des enclenchements directs qui ne paraîtront pas nécessaires pour le mouvement que l'on considère, mais que l'on a établis en vue d'obtenir des enclenchements indirects utiles pour d'autres mouvements.

En réalité, il n'y a pas lieu de s'arrêter à la surabondance apparente des liaisons pour un mouvement déterminé, vu que, pour d'autres mouvements, les liaisons qui semblent surabondantes peuvent être nécessaires; l'important, c'est de constater que ces liaisons sont suffisantes pour chacun des mouvements considéré en lui-même.

Par contre, les enclenchements binaires simples que l'on peut établir entre les leviers d'un poste ne donnent pas toujours les moyens de pourvoir à la sécurité de tous les mouvements et à la conservation des appareils, en particulier quand ces mouvements peuvent s'opérer dans des sens différents sur une même voie; on est conduit alors, pour répondre à tous les cas, à recourir à des enclenchements conditionnels, comme ceux qui sont indiqués à la suite de nos tableaux A et B, mais qui sont toujours une exception et dont on peut facilement expliquer le sens et le but dans chaque cas.

95. — Ces explications générales étant données, passons maintenant en revue les conditions dans lesquelles s'opéreront les divers mouvements de la gare de Givet, en

commençant par ceux qui peuvent être autorisés ou interdits par un signal (\*).

*Arrivée d'un train venant de Namur.*

a. Le train doit être reçu sur la voie principale II.

A cet effet, le stationnaire ou aiguilleur efface le signal 2-3 en renversant le levier 2 de ce signal; suivons, sur la ligne 2 du tableau B et sur le schéma, les conséquences ou les conditions de ce renversement: le train va trouver l'aiguille 12 prise en pointe, normale et verrouillée par le verrou 11, la jonction 10-10 normale, ce qui assure la conservation de l'aiguille 10 que le train rencontre, en même temps que, par sa position, la jonction 10-10 isole la voie de la ballastière de la voie principale II.

Le train arrivera ensuite à l'aiguille 15, qu'il trouvera normale et par suite bien disposée pour son passage. De plus, les aiguilles 14 et 16 seront renversées, et un train venant de Charleroi ne pourrait qu'être dirigé sur la voie I et ne saurait venir rencontrer le train venant de Namur dans le voisinage de l'aiguille 15, de même qu'un train partant de la voie I ne pourrait être dirigé que vers Charleroi, ce qui rend encore toute collision impossible avec le train venant de Namur.

Ce train rencontre la jonction 19 normale, et par suite il ne peut y avoir de collision entre lui et aucune

(\*) A l'époque où le projet du poste Saxby de Givet a été présenté, les disques avancés 1 et 4, qui précèdent une bifurcation annoncée aux mécaniciens par un signal spécial étaient normalement à voie libre. Ces signaux sont aujourd'hui normalement à l'arrêt et, au lieu des enclenchements:

$$\begin{array}{cccc} \frac{1N}{2N'} & \frac{1N}{3N'} & \frac{4N}{5N'} & \frac{4N}{6N'} \end{array}$$

on a les enclenchements ci-après:

$$\begin{array}{cc} \frac{1R}{2R \text{ ou } 3R} & \frac{4R}{5R \text{ ou } 6R} \end{array}$$

manœuvre venant de la voie I ou plutôt des voies de garage paires.

Remarquons d'ailleurs que, pendant que le train de Namur arrivera sur la voie II, rien n'empêchera de recevoir un train venant de Charleroi sur la voie I et les voies de garage impaires, ou d'en expédier un en sens contraire, puisque les aiguilles 14 et 16 se trouvent alors renversées, que la jonction 17-17 est libre, que les signaux 5-6 et 25-26 peuvent être respectivement effacés en renversant les leviers 6 et 25 qui sont libres et que les signaux 23 et 24 sont également libres.

b. Le train venant de Namur doit être conduit sur les voies de garage impaires.

A cet effet le stationnaire efface le signal 2-3 au moyen du levier 3; mais, pour le faire, il faut que divers autres appareils occupent des positions déterminées, qui sont indiquées à la ligne 3 du tableau B.

La lecture de cette ligne montre que le train venant de Namur trouvera l'aiguille 12 renversée et verrouillée par le verrou 11 et par suite convenablement disposée pour son passage, que les leviers 5 et 6 seront à l'arrêt, ce qui interdit toute arrivée d'un train venant de Charleroi, que l'aiguille 16 sera normale et les aiguilles 17-17 renversées, et verrouillées par le verrou 18, que la jonction 19-19 sera normale, de façon à interdire tout mouvement venant des voies de garage paires sur la voie I, qu'enfin le signal 25-26 sera maintenu à l'arrêt par ses deux leviers et que les signaux 23 et 24 seront aussi maintenus ou mis à l'arrêt; le train entrera donc sur les voies de garage impaires, sans avoir à craindre aucune collision.

*Arrivée d'un train venant de Charleroi.*

*a.* Le train doit être dirigé sur la voie principale II.

Le stationnaire, pour autoriser l'entrée en gare, efface le signal 5-6 en renversant le levier 5 de ce signal, ce qui ne peut se faire, comme on le lit à la ligne 5 du tableau B, qu'à la condition que l'aiguille 14 soit normale et l'aiguille 15 renversée, positions qui conviennent pour le passage du train. En même temps les signaux 2-3 et 25-26 seront maintenus à l'arrêt par leurs deux leviers, et les jonctions 10-10, 17-17, 19-19 dans leurs positions normales; on reconnaît facilement que, dans ces conditions, le train venant de Charleroi ne peut rien rencontrer.

*b.* Le train doit être conduit sur les voies de garage impaires.

Pour autoriser l'entrée de ce train en gare, le stationnaire aura à effacer le signal 5-6 au moyen du levier 6 de ce signal; il aura dû d'abord renverser les aiguilles 14 et 16 et la jonction 17-17; l'aiguille 12 sera normale et, si on reçoit un train venant de Namur, il ne pourra être conduit que sur la voie principale II. En outre, les signaux 25-26, 23 et 24 seront à l'arrêt et la jonction 19-19 dans la position normale; le train venant de Charleroi gagnera donc les voies de garage impaires sans pouvoir rien rencontrer.

*Départ d'un train de la voie 1.*

*a.* Le train doit être dirigé sur Charleroi.

Pour autoriser son départ, le stationnaire effacera le signal 25-26 en renversant le levier 25 de ce signal; alors les jonctions 17-17 et 19-19 seront forcément normales, l'aiguille 16 devra être renversée et verrouillée

par 18 pour que le train soit dirigé sur Charleroi, et l'aiguille 14 renversée de manière à être convenablement disposée pour le passage du train.

L'aiguille 12 sera forcément normale et, si un train arrive de Namur, il ne pourra être dirigé que sur la voie principale II. Enfin le signal 5-6 sera à l'arrêt et aucune collision n'est possible.

*b.* Le train doit être dirigé sur Namur.

Son départ sera autorisé en renversant le levier 26 pour effacer le signal 25-26. Il faudra, comme on le lit à la ligne 26 du tableau B, que les jonctions 17-17 et 19-19 soient normales comme dans le cas précédent, que l'aiguille 16 soit normale et verrouillée par 18, et l'aiguille 12 renversée; comme en même temps les signaux 2-3 et 5-6 sont forcément à l'arrêt, le train ne peut rien rencontrer.

*Départ d'un train des voies de garage impaires.* —

Il y a lieu d'envisager en même temps la sortie des voies de garage impaires et la sortie du dépôt; ces sorties sont commandées par les signaux 23 et 24, qui ne peuvent être simultanément effacés en raison de l'enclenchement prévu  $\frac{23R}{24R}$  (24 est normalement à voie libre et 23 normalement à l'arrêt.)

Les trains ou machines sortant des voies dont il s'agit ne pourront d'ailleurs pénétrer sur la voie principale I que si l'aiguilleur a renversé la jonction 17-17. Ceci exige que l'on ait 19N et 25-26N; le train ou la machine arrivera donc en toute sûreté jusqu'à l'aiguille 16.

En outre, s'il doit aller vers Namur, il faut que préalablement on ait 16N et 12R.

S'il doit aller vers Charleroi, il faut qu'on ait préalablement 16R et 14R.

On aurait pu satisfaire à cette condition en enclenchant chacun des signaux 23 et 24 avec les aiguilles et en les

munissant chacun de deux leviers, comme on l'a fait pour le signal 25-26 ; mais il en serait résulté que, lorsque le train ou la machine, au lieu d'être dirigé sur la voie principale I, se borne à circuler sur la voie de manœuvre, on aurait manœuvré inutilement deux des aiguilles 12, 14, 16.

Or il faut remarquer que ce n'est qu'autant que la jonction 17-17 est renversée, pour donner accès sur la voie I, qu'il est nécessaire d'assurer aux aiguilles 12, 14 et 16 les positions ci-dessus indiquées.

Pour ce motif, on a recours à un enclenchement ternaire en vertu duquel :

la jonction 17-17	}	si 16 est N, qu'autant que 12 est R
ne peut être renversée		si 16 est R, qu'autant que 14 est R.

Dans le premier cas, celui d'un départ vers Namur, 12 étant renversé, les leviers 5, 6 et 2 sont forcément normaux (voir douzième ligne du tableau B).

Quant au levier 3, il ne peut être renversé dès que le mouvement considéré est autorisé par l'ouverture d'un des carrés 23 ou 24, car 23 ou 24 à voie libre enclenche 3 normal.

Dans le second cas, celui d'un départ vers Charleroi, 14 étant renversé, les leviers 3 et 5 sont forcément normaux (voir quatorzième ligne du tableau B).

Le signal 2-3 pourra être ouvert en renversant son levier 2, pour laisser entrer un train venant de Namur, qui ne saurait rencontrer celui qu'on dirige sur Charleroi, parce que, l'aiguille 12 étant forcément normale, le train de Namur sera conduit sur la voie principale II. D'un autre côté, on ne saurait ouvrir le signal 5-6 en renversant son levier 6, attendu que, pour le faire, il faudrait que les deux signaux 23 ou 24 fussent à l'arrêt, ce qui est contraire à notre hypothèse, puisqu'on veut envoyer sur Charleroi un train sortant des voies de service impaires.

96. — Les mouvements que nous avons envisagés jusqu'ici sont subordonnés à la position de certains signaux et ne peuvent avoir lieu qu'autant que ces signaux placés à voie libre les autorisent ; mais il y a d'autres mouvements qui peuvent venir engager les voies principales, en quelque sorte en dedans des signaux du poste, par une simple manœuvre d'aiguilles et sans que l'on ait à toucher à aucun signal.

Dans l'espèce il n'y a à considérer que deux de ces mouvements :

1° Mouvement engageant les voies principales par les aiguilles 19-19 renversées à cet effet.

Le tableau B nous montre, à la ligne 19, que ce renversement ne peut avoir lieu qu'autant que les signaux 2-3, 5-6, 25-26 sont à l'arrêt, ce qui empêche tout train d'entrer en gare et d'en partir, et que les jonctions 17-17 et 10-10 sont normales, ce qui empêche toute venue des voies de garage impaires et de la voie dite de ballastière.

Mais il faut ajouter qu'un train sortant des voies de garage paires peut être dirigé sur Namur et Charleroi ; il faut donc que les aiguilles 12 ou 14 soient à l'avance renversées suivant la destination du train et par suite suivant la position de l'aiguille 16 ; aussi l'enclenchement spécial que nous avons signalé précédemment à propos des aiguilles 17-17 est-il reproduit pour les aiguilles 19-19, de telle sorte que pour pouvoir renverser la jonction 19-19, il faut d'abord ou renverser 12, si 16 est normal (direction de Namur), ou renverser 14, si 16 est renversé (direction de Charleroi).

2° Mouvement engageant les voies principales par la jonction 10-10 renversée à cet effet.

Ce renversement, comme le montrent les indications consignées à la ligne 10 du tableau B, ne pourra avoir lieu : 1° qu'autant que le levier 2 sera normal ; si le signal 2-3 est ouvert par le levier 3, l'aiguille 12 sera

renversée (voir la ligne 3 du tableau B), et tout train venant de Namur sera dirigé sur la voie I; 2° qu'autant que le levier 5 sera normal; si le signal 5-6 est ouvert au moyen de son levier 6, l'aiguille 14 aura dû être préalablement renversée (voir la ligne 6 du tableau B), et un train venant de Charleroi sera encore dirigé sur la voie I; 3° qu'autant que les aiguilles 15 et 19-19 seront normales; ce qui achève d'assurer la liberté de la voie II, sur laquelle on engage une manœuvre par la jonction 10-10.

On voit donc que tous les mouvements à prévoir dans les dépendances du poste Saxby de la gare de Givet peuvent s'y faire sans qu'aucune collision soit possible, si les signaux sont respectés.

Notre tableau B fait connaître quels sont les leviers du poste qu'il faut préalablement renverser, avant de pouvoir renverser celui qui doit permettre le mouvement à exécuter: sur le levier de ce dernier on place une plaque indiquant les leviers à renverser avant lui. S'il s'agit, par exemple, du levier 5, nous voyons qu'avant de pouvoir renverser ce levier, pour recevoir un train venant de Charleroi sur la voie principale II, il faudra préalablement renverser les leviers 4, 13, 15 et 16. Mais 15 ne pourra être renversé, comme l'indique la ligne 15 du tableau B, qu'après que 16 aura été lui-même renversé: il sera donc utile, sur la deuxième plaque du levier 5, d'indiquer par une disposition conventionnelle quelconque que si, avant de renverser 5, il est nécessaire de renverser 15, 16, il est également nécessaire de commencer par renverser 16 et qu'il ne serait pas possible d'opérer dans l'ordre inverse.

97. — Puisque je me suis proposé d'examiner à fond les dispositions du poste Saxby de la gare de Givet, mon étude ne serait pas complète si je n'ajoutais à ce qui précède quelques indications sur le verrouillage des aiguilles et sur les enclenchements binaires doubles.

Au poste de Givet il y a trois verrous manœuvrés par les leviers 11, 13 et 18 et destinés à verrouiller respectivement les aiguilles 12, 14, 17 et 16. Ces verrous sont normalement ouverts, c'est-à-dire que, dans leur position normale, ils ne verrouillent pas les aiguilles. En principe, les verrous ne sont fermés que lorsque les aiguilles doivent être abordées en pointe, quelle que soit la position de ces aiguilles, et ils restent ouverts quand elles doivent être abordées par le talon. On peut s'assurer sur le tableau B: 1° que c'est ainsi que les choses ont été prévues et qu'ont été établis les enclenchements des leviers des verrous avec les autres leviers du poste; 2° que lorsqu'un mouvement doit aborder l'aiguille en pointe, le signal qui l'autorise ne peut être ouvert qu'autant que l'aiguille est verrouillée dans l'une ou l'autre de ses positions.

98. — A l'occasion de cette disposition, je consignerai ici, sans y insister, une observation sur le concours que l'on peut trouver dans les leviers des verrous pour réaliser indirectement certaines liaisons, c'est-à-dire certains enclenchements indirects.

Le tableau B nous montre que les leviers 3 et 26 sont enclenchés entre eux indirectement par l'intermédiaire du levier 17 d'une part et, d'autre part, par l'intermédiaire du levier 11 du verrou de l'aiguille 12. Le premier de ces intermédiaires aurait pu ne pas exister, et le second aurait suffi à réaliser l'enclenchement indirect qui est nécessaire pour éviter qu'un train soit dirigé de Namur sur les voies de garage impaires en même temps qu'un train partant de la voie 1 serait dirigé vers Namur. On aurait pu, il est vrai, dans l'espèce, enclencher directement les leviers 3 et 26 entre eux, de façon qu'ils ne pussent être placés simultanément à voie libre; on est arrivé au même résultat en faisant en sorte qu'on ne pût effacer le signal 25-26 par le levier 26 qu'autant que le

verrou 11 serait ouvert et qu'on ne pût effacer le signal 2-3 par le levier 3 qu'autant que le même verrou serait fermé.

Le levier du verrou 11 fonctionne ici comme levier auxiliaire, et il aurait pu remplir le même rôle sans servir à manœuvrer aucun appareil. Dans l'espèce, on aurait pu se passer de son intermédiaire ; mais, dans d'autres cas, il n'en serait pas de même, parce qu'on ne réaliserait pas aussi simplement, sans son intervention, certaines liaisons nécessaires.

Les enclenchements binaires doubles du tableau A ont pour but d'assurer le verrouillage préalable des aiguilles qui doivent être abordées en pointe ; mais ils ne sont pas suffisants pour que ce résultat soit complètement obtenu, et on a dû les compléter par deux enclenchements spéciaux dont le fonctionnement peut être indiqué comme suit :

23 ne peut être renversé, quand 17 est renversé, que si 18 est aussi renversé ;

24 étant normal, on ne peut avoir 17 renversé que si 18 est lui-même renversé.

Ces dispositions ont pour but d'assurer le verrouillage préalable de l'aiguille 16 avant qu'un train en marche venant des voies de garages impaires ou des voies du dépôt ne pénètre sur la voie principale I.

L'étude complète que nous venons de faire des dispositions du poste Saxby de la gare de Givet montre que les enclenchements spéciaux et conditionnels sont des exceptions. On peut se borner à les mentionner à la suite du tableau B, qui fait connaître avec leurs réciproques tous les enclenchements binaires, simples, directs ou indirects, lesquels sont de beaucoup les plus nombreux et les plus importants à considérer.

## NOTE

SUR

LES CHOCS DANS LES TUYAUTAGES D'ALIMENTATION  
DES CHAUDIÈRES

Par M. MORITZ, S.-Ingénieur de la Marine.

Pour éviter les corrosions des tôles et tubes des chaudières, il a été recommandé, pour toutes les chaudières en général, et prescrit pour celles de la Marine militaire (Circulaire ministérielle du 7 juillet 1891), de faire aboutir les tuyaux intérieurs d'eau d'alimentation, non pas dans l'eau des générateurs, mais directement dans la vapeur.

A la suite de l'application de cette prescription, l'on a eu à constater, dans un grand nombre de cas, qu'il se produisait des chocs parfois très violents et inquiétants dans les tuyautages d'alimentation. Ils étaient accompagnés de déformations et ruptures des tuyaux intérieurs d'alimentation, et même de soulèvements des couvercles des régulateurs alimentaires occasionnant une pluie d'eau provenant des chaudières, ce qui n'était pas sans causer un certain émoi parmi le personnel chauffeur. Ces chocs, auxquels l'on ne s'attendait aucunement, ne s'étaient jamais manifestés lorsque l'alimentation se faisait dans l'eau des chaudières.

La diversité des effets constatés à bord des navires n'a pas permis d'en trouver la cause initiale. Aussi le Ministre de la Marine a-t-il prescrit aux cinq ports militaires et à l'établissement d'Indret de la faire rechercher par des essais méthodiques.

Nous avons été chargé des essais à faire à Indret.

Les résultats de nos expériences sont indiqués dans ce qui va suivre.

Nous indiquerons d'abord l'influence des divers éléments qui entrent en jeu dans les manifestations de ces chocs. Nous donnerons ensuite l'explication des phénomènes. Nous montrerons enfin comment, tout en faisant déboucher les tuyautages d'alimentation dans la vapeur, on peut faire disparaître totalement les chocs.

Nous consacrerons, en outre, un paragraphe spécial aux chocs dans les tuyaux d'extraction des chaudières.

I. — Les expériences ont été faites sur une chaudière du type locomotive (la chaudière Widmann de l'établissement d'Indret), timbrée à 10 kilogrammes.

Avant ces expériences l'alimentation de cette chaudière avait été assurée par une pompe Thirion aspirant dans l'une des conduites de distribution d'eau de l'usine et refoulant dans la chaudière par un tuyau aboutissant au-dessous du niveau de l'eau ; un régulateur d'alimentation était interposé à l'entrée du tuyau dans la chaudière ; jamais il n'avait été constaté de chocs dans ces conditions d'installation, lorsque l'on alimentait la chaudière en fonction.

Pour un certain nombre de nos expériences, nous nous sommes servi d'une même pompe Thirion alimentaire et d'un même régulateur, nous bornant à faire varier la disposition des tuyautages intérieurs et extérieurs de la chaudière.

Pour d'autres, nous avons substitué à la pompe un accumulateur d'eau sous pression, déplacé et même supprimé le régulateur alimentaire.

Pour d'autres enfin, nous n'avons pas fait allumer de feu dans le foyer de la chaudière et avons admis dans celle-ci de la vapeur fournie par un autre générateur.

Toutes ces expériences nous ont fait constater que les chocs se produisent, la plupart du temps, à la fin de l'alimentation, dans certains cas au commencement, et plus rarement au cours même de l'alimentation.

Les chocs qui ont lieu à la fin de l'alimentation se produisent exclusivement dans le tuyautage intérieur à la chaudière, en aval du clapet du régulateur alimentaire, ainsi qu'en attestent les indications de manomètres placés sur les tuyautages de refoulement, en amont et en aval du clapet régulateur.

Les chocs qui ont lieu au commencement de l'alimentation se produisent tantôt en aval, tantôt en amont du clapet régulateur.

Enfin les chocs au cours même des alimentations n'appartiennent qu'à la catégorie du choc final.

Les mêmes expériences nous ont permis de déterminer les influences que peuvent avoir sur les manifestations des chocs les éléments suivants, les seuls qui paraissent y entrer en jeu :

- 1° Le régime de la chaudière ;
- 2° Le système de l'appareil alimentaire ;
- 3° Le tuyautage de refoulement situé à l'extérieur et à l'intérieur de la chaudière ;
- 4° La température de l'eau d'alimentation.

Ces influences sont les suivantes.

1° Régime de la chaudière. — Les caractéristiques du régime de la chaudière sont l'activité de la combustion, la pression et la hauteur du niveau de l'eau.

Le degré d'activité de la combustion, toutes choses égales d'ailleurs, ne modifie en rien les manifestations des chocs.

La pression n'a d'influence que sur l'intensité des chocs dans les tuyautages intérieurs ; elle les rend d'autant plus violents qu'elle est plus élevée. Elle facilite, mais ne pro-

voque pas la production des chocs dans les tuyautages extérieurs.

Quant au niveau de l'eau, voici son effet : s'il se trouve au-dessous du tuyautage alimentaire intérieur de la chaudière, il n'y a jamais de chocs ; s'il est au-dessous des portions de tuyautages intérieurs où se fait l'écoulement de l'eau d'alimentation dans la chaudière, il peut y avoir choc dans certaines circonstances. La valeur de la distance du niveau aux points d'écoulement des tuyautages intérieurs n'a aucune influence sur les chocs, à moins toutefois que cette valeur soit très petite, 4 à 5 centimètres ; dans ce dernier cas, les chocs, quand il y en a, sont faibles, et l'on conçoit qu'il doive en être ainsi, car à l'intérieur de la chaudière, où le niveau n'est pas aussi tranché que dans le tube de niveau, l'on a à la surface un mélange d'eau et de vapeur, et l'on peut dire dès maintenant que ce mélange doit nécessairement atténuer les chocs, puisqu'il ressort de ce qu'il vient d'être dit et des expériences faites avec la chaudière sans eau, recevant sa vapeur d'un générateur auxiliaire, que l'agent qui provoque les chocs est la vapeur, lorsque l'eau s'y déverse.

2° **Système de l'appareil alimentaire.** — Lorsque l'appareil alimentaire est l'accumulateur dont il a été question plus haut, il se produit dans certaines circonstances un ou deux chocs au commencement de l'alimentation, jamais au cours même de celle-ci, et dans certaines circonstances, et suivant les cas, un choc ou plusieurs chocs répétés à la fin.

En alimentant assez rapidement avec une pompe Thirion, on a les mêmes chocs qu'avec l'accumulateur et, en outre, quelquefois des chocs au cours même de l'alimentation. Les expériences montrent que ces derniers se produisent lorsque la pompe se désamorçe momentanément.

En alimentant très lentement, on peut obtenir beaucoup

de chocs et même en produire autant que de tours de l'appareil alimentaire. Cette dernière manifestation se rattache aussi aux précédentes, il se produit en effet autant de flux d'eau et, par suite, autant d'arrêts de ce flux que de tours de la pompe. On peut donc dire que l'expérience prouve que l'appareil alimentaire n'a d'influence sur les chocs que s'il est disposé ou conduit de telle sorte qu'il se produise des arrêts de l'alimentation.

3° **Tuyautages de refoulement situés à l'extérieur ou à l'intérieur de la chaudière.** — Nous venons de voir que les chocs ne se produisent, en général, qu'au commencement et à la fin d'une alimentation.

La modification du tuyautage extérieur n'a aucun effet sur la nature du choc final, mais elle peut en avoir sur le choc initial et peut aussi donner lieu à des chocs au cours même de l'alimentation dans le cas où il s'en produit à la fin. Un choc initial ne se produit que si le tuyautage extérieur passe au-dessus du clapet régulateur alimentaire, et si, en outre, le point de déversement du tuyautage intérieur est le point le plus bas de ce tuyautage. Nous verrons plus loin l'explication de ce phénomène.

Sans analyser encore la cause de la production des divers chocs, on peut préjuger que ceux qui se produisent au cours même de l'alimentation sont dus à des arrêts momentanés de celle-ci, d'après ce qui a été dit plus haut, et ces arrêts résultent, si la pompe ne se désamorçe pas, de ce que le tuyau extérieur peut permettre l'accumulation d'air qui, à certains moments, passe dans la chaudière.

Un réservoir d'air, placé en amont du clapet régulateur, n'a aucun effet sur le choc final, tant qu'il n'est pas plein d'air ; à partir de ce moment, il peut être la cause de production de chocs au cours même de l'alimentation.

Le tuyautage d'alimentation, situé à l'intérieur de la

chaudière et débouchant dans la vapeur, peut influencer le choc du tuyautage extérieur, comme on l'a vu; mais son influence sur le choc final est prépondérante. Elle agit tout à la fois sur l'intensité et le nombre des chocs. Nous citerons les quelques cas suivants de nos expériences, en signalant ceux où il y a eu choc dans le tuyautage extérieur.

CAS N° 1. — Le tuyautage extérieur ne monte pas au-dessous du régulateur alimentaire. Le tuyautage intérieur est disposé comme l'indique le tracé (fig. 1): la pente de la partie *bc* est très faible, la portion *ab* n'est pas crépinée, la portion *bc* l'est à partir d'une certaine distance de *b*; le tuyautage intérieur est bouché en *c*.

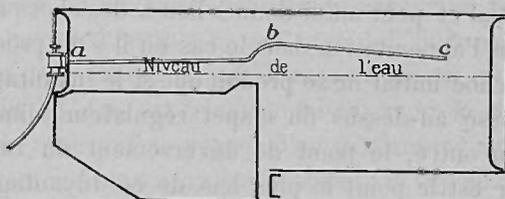


FIG. 1.

*Phénomènes observés.* — On a un ou deux chocs dans le tuyautage intérieur à la chaudière au début de l'alimentation et de nombreux chocs à la fin, cela quel que soit le mode de crépinage. Lorsque celui-ci est dirigé vers le bas, les chocs sont moins violents que lorsqu'il est dirigé vers le haut (le crépinage du tuyau est détérioré et tend à se refermer).

CAS N° 2. — Le tuyautage extérieur est disposé comme dans le cas n° 1. Le tuyautage intérieur est interrompu aussitôt après l'inflexion en *b* (fig. 2), il déverse à la chaudière sans crépinage.

*Phénomènes observés.* — Après une alimentation ordi-

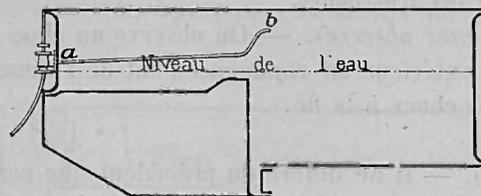


FIG. 2.

naire, il y a léger choc. Après une alimentation très lente, l'on n'a pas de choc. Il n'y a pas de choc au début.

CAS N° 3. — Le tuyautage extérieur restant toujours le même, le tuyautage intérieur monte constamment et rapidement vers son extrémité (fig. 3). Il n'y a pas de crépinage.

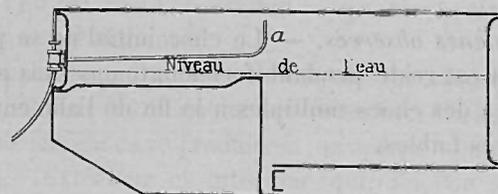


FIG. 3.

*Phénomènes observés.* — Il ne se produit aucun choc.

CAS N° 4. — Le tuyautage extérieur monte au-dessus

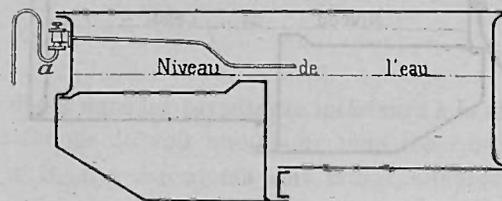


FIG. 4.

du régulateur, à partir duquel le tuyautage intérieur va

constamment en baissant et assez rapidement (*fig. 4*). — Le coude *a* est très court.

*Phénomènes observés.* — On observe un choc dans le tuyautage extérieur au commencement de l'alimentation et plusieurs chocs à la fin.

CAS N° 5. — Il ne diffère du précédent que par l'addition du siphon renversé au tuyautage intérieur (*fig. 5*).

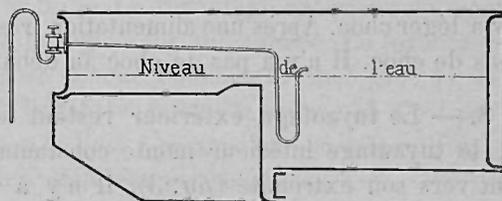


FIG. 5.

*Phénomènes observés.* — Le choc initial ne se produit que si l'on est resté pendant fort longtemps sans alimenter. L'on a des chocs multiples à la fin de l'alimentation; ils sont très faibles.

CAS N° 6. — Tout tuyautage intérieur est supprimé. Le tuyautage extérieur est tout entier au-dessus du régulateur (*fig. 6*).

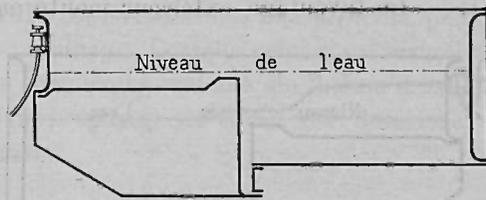


FIG. 6.

*Phénomènes observés.* — On a un choc unique à la fin de chaque alimentation.

CAS N° 7. — Il ne diffère du précédent que par le tuyautage extérieur qui, ici, passe au-dessus du régulateur (*fig. 7*).

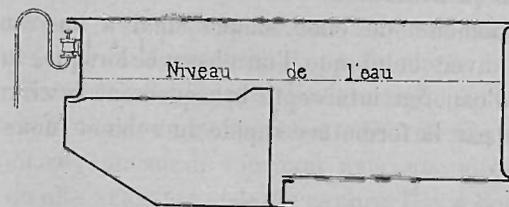


FIG. 7.

*Phénomènes observés.* — A la fin de l'alimentation on a le même choc que précédemment; en outre, l'on a un choc dans le tuyautage extérieur au début de l'alimentation, si l'on est resté un certain temps, mais relativement court, avant d'alimenter.

La suppression du clapet du régulateur alimentaire ne modifie en rien les phénomènes relatés ci-dessus, si ce n'est que les chocs se produisent en même temps dans le tuyautage extérieur et intérieur qui, ici, ne sont plus distincts.

4° *Influence de la température.* — Dans les limites où nous avons fait nos expériences, c'est-à-dire entre la température ordinaire et 100°, l'influence de cette température est pour ainsi dire nulle.

II. — *Chocs dans les tuyautages intérieurs à la chaudière.* — Nous venons de voir que, pour tous les cas signalés, sauf le n° 3, il y a toujours des chocs, simples ou multiples, intenses ou faibles, à la fin d'une alimentation. Le cas le plus simple est celui où il n'y a aucun tuyautage intérieur à la chaudière. Il se produit à la fin de l'alimen-

tation un choc simple en aval du clapet régulateur; c'est la constatation de ce choc simple qui nous a mis sur la voie de l'explication du phénomène des chocs dans les tuyautages en aval.

Ce phénomène de choc simple final a une analogie frappante avec celui que l'on observe lorsque, sur une conduite d'eau, on intercepte brusquement la circulation du liquide par la fermeture rapide du robinet (nous avons

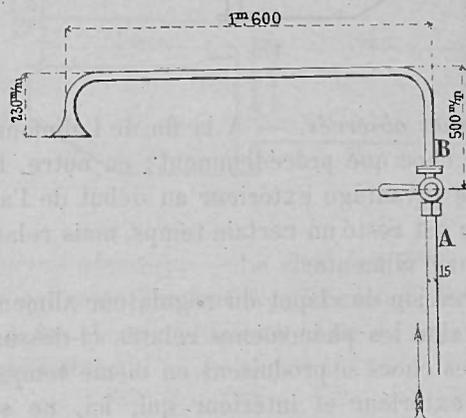


FIG. 8.

reproduit l'expérience sur une conduite de 15 millimètres de diamètre intérieur, installée comme sur le croquis ci-dessus (fig. 8), où l'eau avait une vitesse de 2 mètres à la seconde). Immédiatement après la fermeture brusque du robinet, l'on entend un choc. Celui-ci a lieu, contrairement à l'opinion de bien des personnes, en aval et non en amont du robinet, comme l'on peut s'en rendre compte par les expériences suivantes :

En installant un réservoir d'air en A en amont du robinet, le phénomène ne change aucunement.

En l'installant en B en aval, le choc est extrêmement

amorti. Si l'on coupe le tuyau en aval au ras du tournant, le choc disparaît complètement (\*).

L'explication du choc dans les conduites d'eau est donc la suivante : au moment de la fermeture brusque du robinet, l'eau, en vertu de sa vitesse acquise, continue son mouvement au-delà de celui-ci; mais alors, le vide se forme derrière elle, la pression atmosphérique communique à cette eau un mouvement uniformément retardé qui la fait revenir sur le tournant avec une vitesse égale à celle qu'elle avait avant la fermeture. Il y a donc de ce fait choc.

L'idée qu'ont eue bien des personnes d'admettre que le choc se fait toujours en amont tient à ce que quelquefois, en même temps que le choc, a lieu une rupture de joint en amont du robinet. Cette rupture est due à la transformation de l'énergie cinétique du liquide d'amont en énergie statique, phénomène indépendant de celui du choc (il est néanmoins des cas où le choc peut aussi avoir lieu en amont, mais non si la conduite est simple et s'il ne peut se produire des espaces vides de ce côté).

Ainsi donc, dans le cas des conduites d'eau, comme dans le cas n° 6, signalé plus haut, il y a choc au moment de l'interception de l'eau et en aval de l'obturateur.

On est donc conduit à penser que le choc final dans le régulateur d'alimentation est dû à un retour brusque de l'eau en aval du clapet dans la boîte du régulateur à la fin de l'alimentation. Mais ici ce retour ne peut plus être provoqué par un vide créé dans le régulateur, en vertu de la vitesse acquise par l'eau, attendu qu'au moment où l'alimentation va cesser, la vitesse de l'eau en amont et en aval du clapet régulateur se ralentit petit à petit, jus-

(\*) Pour la disparition complète du choc, il est nécessaire de couper le tuyautage en aval, bien au ras du tournant; il ne suffirait pas, par exemple, de supprimer simplement le tuyau proprement dit et de laisser subsister la tubulure du robinet qui fait corps avec le boisseau.

qu'à devenir nulle, le clapet régulateur ne faisant qu'obéir au mouvement même de cette eau et ne commandant pas ce mouvement de l'extérieur vers l'intérieur de la chaudière. Le retour dans la boîte du régulateur est dû à ce que, au moment où l'eau cesse de tomber dans la chaudière à gueule bée, la vapeur pénètre dans la boîte alimentaire et y rencontre les parois froides, ainsi que la surface froide de l'eau: elle s'y condense et crée de ce fait un courant de vapeur vers la boîte; ce courant entraîne l'eau d'aval non encore tombée dans la chaudière, comme cela se passe pour un injecteur ou un éjecteur, et c'est ce courant d'eau qui, en frappant les parois du régulateur, donne lieu à un choc. Cette explication permet de rendre compte de tous les phénomènes de choc final signalés plus haut et des influences des divers éléments qui agissent sur ces manifestations. Et, d'abord, l'on conçoit qu'il ne doit pas se produire de choc final, lorsque l'on alimente une chaudière au-dessous du niveau de l'eau; la vapeur, ne pouvant pénétrer dans la boîte du régulateur alimentaire, ne peut pas s'y condenser et rapeler l'eau en arrière.

L'influence de la pression s'explique ainsi tout naturellement. Il en est de même de l'influence du système de l'appareil alimentaire et de celle de la température de l'eau d'alimentation, qui est toujours inférieure à celle de la vapeur de la chaudière. Quant à l'explication des divers phénomènes qui, signalés plus haut, dépendent de la forme des tuyautages intérieurs et extérieurs de la chaudière, nous la donnerons après avoir indiqué la cause du choc initial dans le tuyautage extérieur, qui se produit dans les circonstances que nous connaissons.

**Chocs dans les tuyautages extérieurs à la chaudière.** — Voici ce qui se passe dans ce tuyau: l'alimentation étant terminée, l'eau du tuyautage extérieur peut, si le clapet

régulateur n'est pas parfaitement étanche, être remplacée petit à petit par de la vapeur, en vertu de la différence de densité des deux fluides, jusqu'à son point le plus élevé *a* (fig. 9).

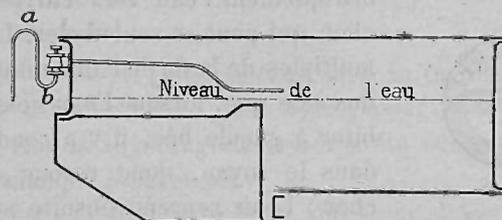


FIG. 9.

Quand on réalimentera, l'eau froide tombant dans la partie *ab* y condensera la vapeur et créera le vide, il se produira donc, en vertu de la pression qui règne dans le réservoir de la pompe alimentaire, un courant d'eau de la pompe vers le clapet chargé de la pression de la chaudière contre lequel elle bute; il y aura, par suite, choc. La force vive de l'eau pourra être suffisante pour soulager momentanément le clapet, et alors une certaine portion d'eau pourra passer dans la chaudière, d'où naissance d'un choc intérieur en aval du clapet, au commencement de l'alimentation, puisqu'il y a interruption d'alimentation.

Cette explication rend compte, elle aussi, de l'influence des divers éléments, régime de la chaudière, système de l'appareil alimentaire, température, sur les chocs dans les tuyautages extérieurs.

Nous pouvons étudier maintenant les phénomènes qui se passent dans les divers cas signalés plus haut.

**CAS N° 1.** — Il n'y a pas de choc dans le tuyautage extérieur, car celui-ci reste toujours plein jusqu'au clapet régulateur. Quant aux chocs intérieurs, voici comment ils se produisent: à l'origine de l'alimentation, de *b* à *c*, l'eau ne

peut s'écouler en remplissant complètement le tuyau, elle n'occupe que la partie basse de celui-ci ; la vapeur qui occupe la partie haute se condense donc et est remplacée par de la vapeur qui arrive de la chaudière en ramenant

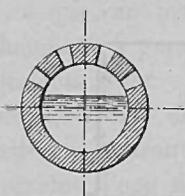


FIG. 10.

brusquement l'eau vers l'arrière ; donc choc qui peut se renouveler. Les chocs multiples de la fin de l'alimentation sont dus à ce que, lorsque l'eau cesse de déborder à gueule bée, il y a condensation dans le tuyau, donc retour d'eau et choc ; l'eau reprend ensuite son écoulement, causant une nouvelle condensation et un nouveau choc ; ces chocs sont analogues au glou-glou d'une bouteille que l'on vide.

L'influence du sens du crépinage s'explique par la plus grande surface de condensation dans le cas du crépinage dirigé vers le haut.

On voit aussi que ce crépinage doit se refermer, l'eau rentrant violemment entraîne les parois du crépinage.

CAS N° 2. — Comme dans le cas n° 1, il ne peut y avoir choc extérieur. Le choc final s'explique comme le précédent, mais ici la surface condensante et la masse d'eau de retour étant faibles, il ne peut y avoir qu'un choc faible. Si l'alimentation est très lente, dans le petit bout du tuyau *b* (fig. 11), il n'y a que peu d'eau, et la condensation ne peut être rapide : il n'y a donc pas choc.

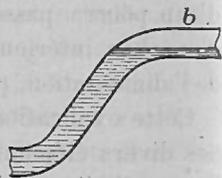


FIG. 11.

CAS N° 3. — Il n'y a évidemment pas de choc possible dans le tuyautage extérieur ; il n'y en a pas non plus dans le tuyautage intérieur, parce qu'après cessation de l'alimentation le tuyautage intérieur reste entièrement plein : il n'y a donc pas condensation.

CAS N° 4. — Nous trouvons ici le choc dans le tuyautage extérieur puisqu'il peut se vider d'eau jusqu'en *a* ; les chocs intérieurs s'expliquent comme dans le cas n° 1 ; mais, le tuyau ayant plus de pente, les glous-glous sont plus violents.

CAS N° 6. — L'**U** ne permet plus au tuyautage extérieur de se vider ; il ne peut donc y avoir choc extérieur que si l'eau du tuyautage intérieur a été évaporée, ce qui peut demander longtemps.

Les chocs multiples de la fin, qui se produisent pour les mêmes motifs que précédemment, sont moins forts à cause des coudes du tuyautage qui absorbent une bonne part de la force vive de l'eau rentrant dans le tuyau.

CAS N° 6. — Nous en avons vu l'explication.

CAS N° 7. — Le choc de la fin doit être le même que dans le cas précédent, celui du début s'explique comme dans le cas n° 4.

Ces chocs doivent évidemment se produire tout aussi bien lorsque le clapet du régulateur est supprimé.

III. — Des explications qui précèdent résulte le moyen d'éviter aussi bien le choc extérieur que le choc intérieur, tout en faisant déverser le tuyau intérieur d'alimentation dans la vapeur. Pour éviter le choc dans le tuyautage extérieur il suffit de s'arranger de manière à empêcher l'eau de pouvoir y être remplacée par de la vapeur : on disposera donc la portion du tuyautage de refoulement située à l'extérieur de la chaudière entièrement au-dessous du régulateur alimentaire.

Pour éviter les chocs dans le tuyautage intérieur, il faut empêcher qu'à la fin de l'alimentation la vapeur, en

se condensant dans le tuyautage, puisse faire revenir cette eau en arrière.

Nous avons déjà vu que l'on arrive à ce résultat dans

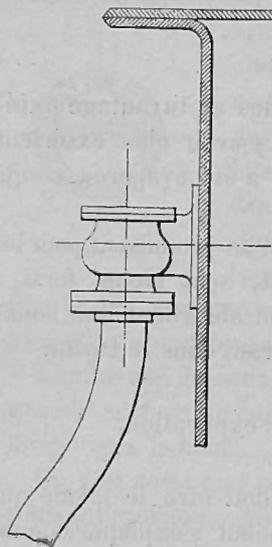


FIG. 12.

le cas n° 3 ; mais cette disposition ne permet pas de répartir l'eau d'alimentation sur toute la surface d'évaporation, ce qui peut être la cause d'entraînement d'eau de la chaudière et de fatigue locale des pièces de construction de celle-ci.

On peut aussi arriver à faire disparaître les chocs intérieurs en reproduisant, sur le tuyautage d'alimentation intérieure, une disposition analogue à celle qui, sur

une conduite d'eau, consiste à couper le tuyau d'aval au ras du tournant. Dans le cas du tuyautage intérieur à la chaudière, elle revient à placer un clapet s'ouvrant de l'extérieur de la chaudière vers l'intérieur sur le tuyautage intérieur de celle-ci en un point quelconque, et à faire déverser l'eau immédiatement après (\*) (le clapet retenu sur son siège par un ressort) (fig. 13 et 14).

Cette solution présente le même défaut que la précédente. Il est toutefois très facile de la modifier de manière

(\*) La disposition du premier croquis (fig. 13) est la première que nous avons été conduit à essayer, après avoir remarqué l'analogie des chocs dans les chaudières avec ceux des conduites d'eau ; c'est elle qui nous a conduit à l'explication des phénomènes.

à distribuer l'eau dans toute la chaudière. Il suffit d'établir un canal crépiné immédiatement après le clapet.

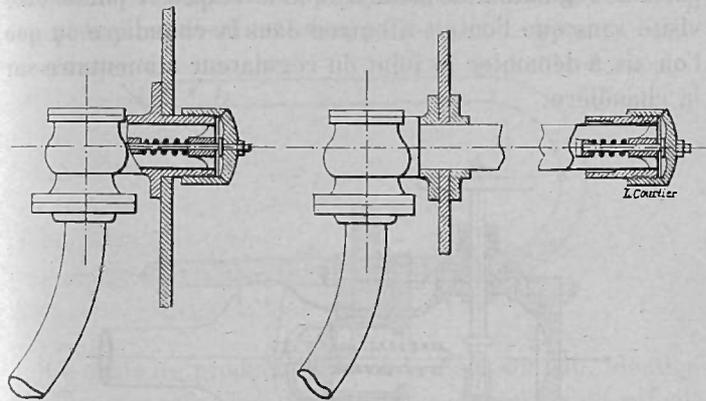


FIG. 13.

FIG. 14.

Nous avons essayé la disposition suivante (fig. 15) où

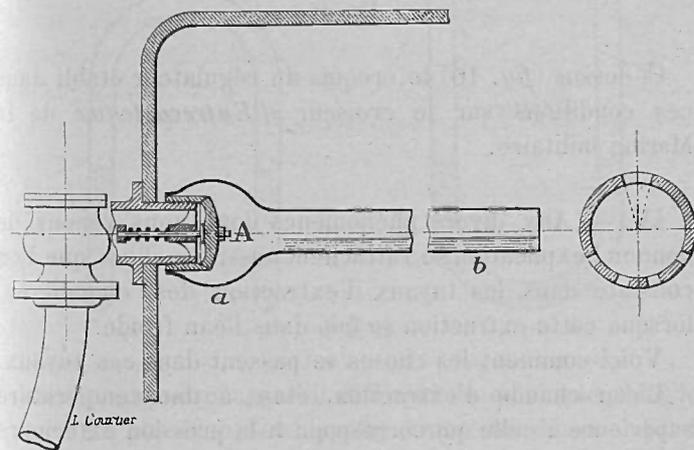


FIG. 15.

le tuyau *ab* est crépiné par le bas et ouvert par le haut, de manière à éviter toute formation de piston d'eau.

Cette solution nous paraît être celle qui convient le mieux pour éviter les chocs. Toutefois il est bon de disposer le régulateur de manière que le clapet A puisse être visité sans que l'on ait à entrer dans la chaudière ou que l'on ait à démonter le joint du régulateur alimentaire sur la chaudière.

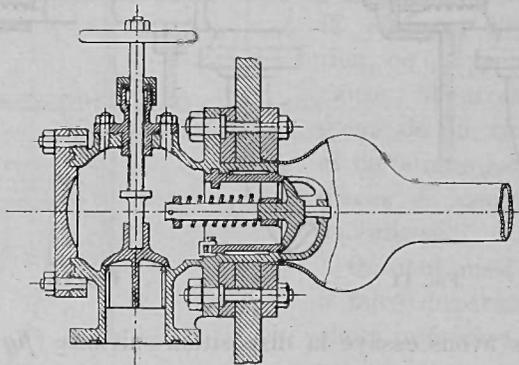


FIG. 16.

Ci-dessus (fig. 16) le croquis du régulateur établi dans ces conditions sur le croiseur *d'Entrecasteaux* de la Marine militaire.

IV. — Aux divers phénomènes dont nous venons de donner l'explication se rattachent aussi les chocs que l'on constate dans les tuyaux d'extraction des chaudières, lorsque cette extraction se fait dans l'eau froide.

Voici comment les choses se passent dans ces tuyaux.

L'eau chaude d'extraction, étant à une température supérieure à celle qui correspond à la pression extérieure à la chaudière (pression atmosphérique augmentée de la pression due à la hauteur d'eau), se vaporise en partie; il se forme des bulles de vapeur qui tendent à s'échapper avec l'eau d'extraction.

Ces bulles de vapeur, venant à rencontrer l'eau froide extérieure, se condensent, et il y a précipitation de l'eau froide vers l'intérieur du tuyau où elle rencontre l'eau qui se précipite vers l'extérieur; il y a donc choc.

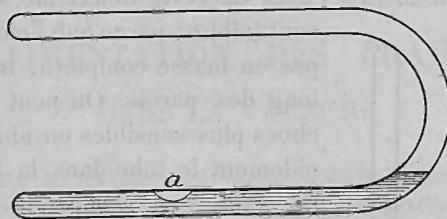


FIG. 17.

Ce mode de production de choc d'eau sur eau, identique d'ailleurs à celle dans le tuyautage extérieur de refoulement d'eau à une chaudière, est mis en lumière par l'expérience suivante, que nous avons faite.

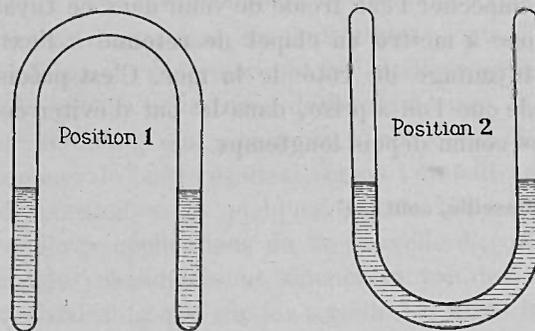


FIG. 18.

Si l'on prend un appareil différent de celui que, dans les cours de physique, l'on appelle « marteau d'eau », par la courbure du tube, et que l'on s'arrange de manière à produire des bulles dans la masse d'eau en *a* (fig. 17), par exemple, ce à quoi l'on arrive aisément en variant convenablement l'inclinaison du tube, cette bulle disparaît

rapidement en donnant lieu à un choc. De même, en plaçant le tube d'abord dans la position 1, puis dans la position 2 (*fig. 18*), il y a production de choc au moment où les deux masses qui étaient séparées en 1 se rencontrent en 2. Les chocs de cette deuxième expérience

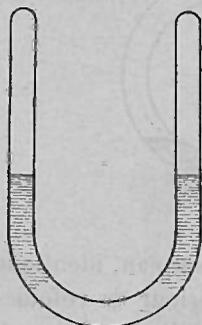


FIG. 19.

sont faibles, parce que l'eau ne tombe pas en masse complète, mais file le long des parois. On peut rendre les chocs plus sensibles en abaissant rapidement le tube dans la position 2, de manière à séparer le liquide en deux colonnes qui se rejoignent avec choc (*fig. 19*).

Comme pour les chocs à l'intérieur des tuyaux d'alimentation, le moyen à employer pour éviter les chocs à l'intérieur de ceux d'extraction con-

siste à empêcher l'eau froide de venir dans ce tuyautage; il y a donc à mettre un clapet de retenue à l'extrémité de ce tuyautage du côté de la mer. C'est précisément l'habitude que l'on a prise, dans le but d'éviter ce genre de chocs connu depuis longtemps.

Marseille, août 1897.

## NOTE

AU SUJET

DE L'ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES  
DANS LA VAPEUR

Par M. RAYMOND, S.-Ingénieur de la Marine,  
Ingénieur principal des ateliers de la C<sup>e</sup> des Messageries maritimes.

Jusqu'en 1888 l'alimentation des chaudières de la Marine se faisait au-dessous du niveau de l'eau. A cette époque, pour prévenir l'usure des tubes en fer ou en acier extra-doux dans les chaudières de torpilleurs, on essaya, entre autres dispositions, de faire arriver l'eau d'alimentation à la partie supérieure de la chaudière par un tuyau percé de petites ouvertures débouchant dans la vapeur un peu au-dessus du niveau de l'eau. Cette disposition parut donner de bons résultats, et on l'étendit aux appareils évaporatoires de quelques grands bâtiments. Mais les premières applications de la nouvelle disposition sur ces grandes chaudières ne donnèrent pas des résultats aussi satisfaisants que sur les torpilleurs. Dans le tuyautage d'alimentation se produisaient des chocs intenses; à la visite on trouvait les tronçons de tuyautages *intérieurs à la chaudière*, fendus, déchirés et gonflés. Ces chocs disparaissaient quand on maintenait le niveau assez haut pour noyer la crépine de la pipe d'alimentation; ils reparaissaient quand la crépine se trouvait découverte.

En d'autres termes, les chocs disparaissaient quand on alimentait dans l'eau au lieu d'alimenter dans la vapeur.

Frappé de l'absence de chocs sur les chaudières, type locomotive, des torpilleurs, dont le tuyautage devait être établi de la même manière que sur les appareils dont nous venons de parler, nous avons relevé exactement l'installation des pipes d'alimentation d'un certain nombre de ces torpilleurs. Nous avons constaté alors que, sur tous ces petits bâtiments, le tuyautage intérieur de la chaudière était déformé, affaissé, et que la crépine ménagée à la partie inférieure de la pipe était complètement noyée. Le tuyautage avait été établi pour alimenter dans la vapeur, mais il est vraisemblable que les premiers chocs l'ont affaissé dans l'eau.

Ces constatations indiquaient bien qu'il n'y a chocs que sur les chaudières dans lesquelles la crépine de la pipe est en pleine vapeur.

Pour rechercher les causes de ces chocs nous avons employé le dispositif suivant.

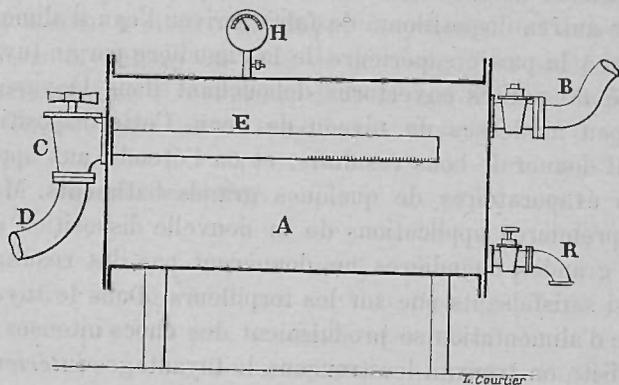


FIG. 1.

Un réservoir cylindrique en tôle A (*fig. 1*) était installé horizontalement sur le sol. Ce réservoir pouvait être mis en communication par un tuyau B avec une chaudière Belleville. Sur l'un des fonds du réservoir était fixé un

régulateur d'alimentation C. Une pompe à bras permettait de refouler de l'eau dans le réservoir A. Cette eau arrivait par le tuyau D, et s'écoulait dans le réservoir, en passant par un tuyau intérieur E fermé à son extrémité et percé de trous à sa partie inférieure sur la seconde moitié de la longueur. Enfin un manomètre H indiquait la pression de la vapeur dans le réservoir, et un robinet de purge R permettait de faire la vidange de l'appareil.

Les dimensions du tuyau E étaient les suivantes :

Diamètre intérieur .....	50 <sup>mm</sup>
Longueur totale du tuyau .....	1 <sup>m</sup> ,40

La section totale des trous de la partie crépinée était égale à trois fois la section droite du tuyau.

Enfin l'axe du tuyau était sensiblement horizontal. Cet ensemble reproduisait ainsi le tracé adopté jusqu'ici pour l'alimentation dans la vapeur des chaudières de la Marine militaire.

Dans notre première expérience le régulateur était ouvert en grand, la pression de la vapeur dans le réservoir était de 11 kilogrammes. On donne aussi régulièrement que possible quatre coups de pompe, envoyant ainsi dans le tuyau E 8 litres d'eau en 15 secondes; pendant que la pompe est en action, trois chocs violents se produisent à intervalles à peu près égaux.

Après stoppage les chocs continuent : on en compte encore deux d'intensité décroissante et plus espacés que les premiers. Au troisième choc, le joint du couvercle du régulateur est cassé. Fait important à noter, ce joint ne crache d'abord que de l'eau; la vapeur ne s'échappe par cette fuite que lorsque toute l'eau contenue dans le tuyau E a été expulsée.

Pour les expériences suivantes on remplace le régulateur avarié par un régulateur renforcé, et, au démontage nécessité par cette opération, on constate que le tuyau E

est gonflé sur une longueur de 15 centimètres à partir de la bride de jonction sur le fond qui porte le régulateur. L'autre extrémité du tuyau n'a pas souffert.

Plusieurs expériences, refaites dans des conditions analogues avec le régulateur renforcé, ont donné les mêmes chocs et des avaries de même nature du tuyau intérieur. La levée plus ou moins grande du régulateur n'avait aucune influence. D'autre part, l'intensité des chocs croisait avec la pression.

Voici comment on pouvait concevoir le phénomène. L'eau refoulée par la pompe se répand sur toute la partie inférieure du tuyau d'alimentation; elle condense une par-



FIG. 2.

tie de la vapeur que renferme ce tuyau; une dépression se produit, par suite, dans le volume *abmn* (fig. 2). Sous l'action de la différence de pression qui existe entre l'intérieur et l'extérieur du tuyau, la vapeur qui remplit le réservoir pénètre dans la pipe d'alimentation et rejette sur le fond, en *hkcd* (fig. 3), toute l'eau qu'il renferme, d'où un premier choc.

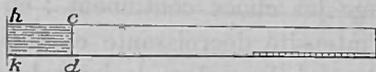


FIG. 3.

L'eau s'écoule de nouveau sur toute la longueur du tuyau, et le phénomène recommence. Tant que l'allure de la pompe alimentaire ne change pas, on devra donc avoir une succession de chocs à peu près équidistants, puisque les circonstances qui accompagneront la production de

chacun d'eux seront sensiblement les mêmes. Mais, après le stoppage de la pompe, les chocs devront être plus espacés et moins violents, parce que la quantité d'eau restant dans le tuyau va en diminuant, que cette eau s'échauffe de plus en plus, que la condensation de la vapeur dans le tuyau est plus lente et que, par conséquent, la dépression nécessaire pour obtenir une vitesse d'écoulement suffisante de la vapeur qui remplit le coffre est plus longue à s'établir.

Cette hypothèse entraîne les conséquences suivantes :

1° Il doit exister une vitesse d'alimentation au-dessous de laquelle les chocs ne se produisent plus, parce que la vitesse de dépression correspondante dans le tuyau crépiné est trop faible pour donner à la vapeur une vitesse suffisante. Nous appelons vitesse d'alimentation la quantité d'eau refoulée par seconde, et vitesse de dépression la chute de pression en une seconde ;

2° La vitesse maximum d'alimentation sans chocs doit s'élever si l'on alimente avec de l'eau chaude, puisque dans ces conditions, et à égalité de vitesse d'alimentation, la vitesse de dépression est plus faible ;

3° Les chocs doivent disparaître pendant toute la durée du fonctionnement régulier de la pompe, si la vitesse d'alimentation est assez grande pour que le tuyau crépiné soit toujours complètement plein. Mais les chocs doivent reparaitre après le stoppage de la pompe.

Nous avons vérifié ces trois conséquences. Avec de la vapeur à 11 kilogrammes, de l'eau d'alimentation à la température de 18°, la vitesse maximum d'alimentation sans choc a été trouvée égale à 0<sup>m</sup>,35. Cette vitesse paraît bien être la limite, car la moindre accélération dans le mouvement de la pompe entraîne la production de faibles chocs.

Avec de la vapeur à 7 kilogrammes et de l'eau à 18°, cette vitesse d'alimentation sans chocs devient égale à

0<sup>m</sup>,44. Avec une pression de vapeur de 3 kilogrammes, et toutes choses égales d'ailleurs, nous n'avons pas pu obtenir de chocs, quoique la vitesse d'alimentation ait été poussée jusqu'à 2 litres.

Avec de l'eau à 70° et de la vapeur à 11 kilogrammes, la vitesse maximum sans choc a été de 0<sup>m</sup>,40, valeur supérieure à celle que donne l'alimentation à l'eau froide dans les mêmes conditions de pression.

Enfin, en accélérant le débit de manière que la pipe soit constamment pleine d'eau, l'alimentation se fait régulièrement et sans chocs pendant toute la durée du fonctionnement de la pompe; mais, après le stoppage, commence la succession des chocs d'intensité décroissante.

Il paraît donc bien établi que les chocs se produisent comme nous l'avons indiqué plus haut.

Comment se fait cet entraînement par la vapeur de la colonne d'eau?

C'est là un sujet fort complexe, qui demanderait des études particulières, mais dont la connaissance n'est pas nécessaire à la solution de la question qui nous occupe; il nous suffit de savoir que ce phénomène d'entraînement existe et dans quelles conditions il se produit.

Toutes ces expériences étaient terminées quand nous avons eu entre les mains un opuscule (\*) écrit par M. Gurlt, conseiller privé de l'Amirauté allemande, dans lequel se trouve la relation d'expériences excessivement intéressantes sur les explosions de tuyautage faites à l'arsenal de Wilhemshaven.

Ces expériences ayant, par leurs résultats, une certaine analogie avec les nôtres, nous croyons utile de reproduire ci-dessous un extrait de la note de M. Gurlt (\*\*):

(\*) *Explosionen der Dampfleitungen auf Schiffen, und die Mittel um ihren verheerenden Wirkungen zu begegnen.*

(\*\*) M. Gurlt ne donne que les expériences les plus intéressantes. L'exposé complet des essais entrepris à Wilhemshaven se trouve dans le numéro de mars 1894 de la *Marine-Rundschau*.

« Un tronçon de tuyautage en cuivre, provenant d'une machine condamnée de 310 millimètres de diamètre sur 6 millimètres d'épaisseur, fut placé de telle sorte que la partie principale A (fig. 4), de 7 mètres de longueur

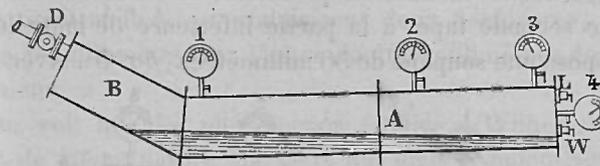


FIG. 4.

« environ, fût légèrement inclinée sur l'horizontale; son extrémité la plus basse était boulonnée avec un bout de tuyau B se relevant, en faisant avec le premier un angle obtus; on constituait ainsi une sorte de poche dans laquelle s'amassait l'eau préalablement versée dans le tuyau en quantité égale au 1/3 environ de la contenance de ce dernier.

« La hauteur d'eau était maximum à la jonction des deux tuyaux; elle y atteignait environ 230 millimètres, elle laissait libre à peu près le 1/5 de la section droite du tuyau, tandis qu'à l'autre extrémité la génératrice inférieure du tuyau A était à peine couverte. Par un tuyau D de 80 millimètres de diamètre on faisait arriver brusquement au-dessus de l'eau de la vapeur à la pression de 5 atmosphères, pendant qu'on ouvrait deux robinets L et W, de 20 millimètres de diamètre et disposés dans le haut et dans le bas de la tige qui fermait l'extrémité du tuyau A; on mesurait l'intensité des coups de bélier à l'aide de 4 manomètres à maxima (1, 2, 3, 4), gradués jusqu'à 150 atmosphères, qui, à la fin de chaque expérience, indiquaient la violence du choc. Le manomètre 1 marquait 30; le 2, 8; le 3, 14; le 4, 8 kilogrammes. Avec une arrivée de vapeur très

« lente, les chocs étaient très faibles, et les manomètres  
« indiquaient tous simultanément la pression de la chau-  
« dière.

« Ensuite, on enleva le tronçon B, le tuyau A fut laissé  
« à sa faible inclinaison primitive, et on le ferma, par  
« une seconde tape, à la partie inférieure de laquelle on  
« disposa une soupape de 50 millimètres (*fig. 5*). Avec une

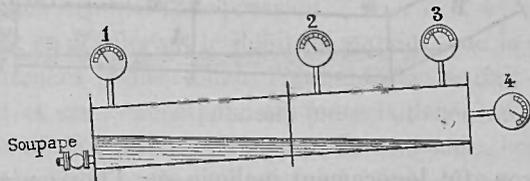


FIG. 5.

« ouverture de  $\frac{3}{5}$  de cette soupape, la vapeur à 5 atmo-  
« sphères, arrivant maintenant au-dessous de l'eau, pro-  
« duisait des chocs si violents que, dans une expérience,  
« les filets de quatre boulons de la seconde tape furent  
« arrachés, la tape elle-même fortement déformée, le  
« manomètre 4 fixé sur elle détruit, et le tuyau lui-même  
« gonflé dans le voisinage de la tape; les autres mano-  
« mètres, pris dans le même ordre que ci-dessus, mar-  
« quaient 34, 27 et 65 kilogrammes.

« Dans une autre expérience, faite avec la même  
« ouverture de soupape, le tuyau se déchira à 100 milli-  
« mètres du fond, sur une longueur de 210 millimètres,  
« pendant que les manomètres indiquaient 22, 13 et  
« 60 kilogrammes; au quatrième manomètre placé sur la  
« tape, la pression maximum de 150 kilogrammes était  
« dépassée.

« Après enlèvement de la partie déchirée, le tuyau  
« d'essai, raccourci à 6 mètres environ et fermé de nou-  
« veau par une tape, ne portant plus cette fois de mano-  
« mètre, on réduisit la hauteur maximum de l'eau de 230  
« à 170 millimètres. Les chocs produits par l'arrivée de

« la vapeur donnaient encore aux trois manomètres rec-  
« tants des pressions de 30, 35, 60 kilogrammes.

« Après élévation du niveau de l'eau à 250 milli-  
« mètres, deux boulons de jonction du fond furent brisés,  
« et sur la partie du tuyau comprise entre l'extrémité et  
« le joint milieu, se produisirent deux déchirures, l'une  
« de 60 millimètres, et l'autre de 100 millimètres de lon-  
« gueur. »

On voit que les phénomènes étudiés à Wilhemshaven  
sont de même nature que ceux qui nous occupent, et que  
les chocs constatés dans les tuyautages d'alimentation  
dans la vapeur ne sont qu'un cas particulier des chocs  
dus à la présence de l'eau dans les tuyautages de vapeur,  
lesquels sont vraisemblablement la cause des trop fré-  
quentes ruptures de peet-valves en fonte, restées jus-  
qu'ici inexplicables.

De ce que nous avons exposé plus haut, il résulte que,  
même avec les dispositions actuelles de tuyautages d'ali-  
mentation dans la vapeur, on pourrait éviter les chocs si  
on avait la précaution d'alimenter avec une vitesse assez  
faible; l'alimentation devrait être continue, les pompes ne  
devraient jamais être mises en marche trop brusquement  
et devraient marcher toujours à une allure modérée qui  
serait à déterminer expérimentalement pour chaque chau-  
dière. Mais ce sont là des conditions beaucoup trop diffi-  
ciles à réaliser dans la pratique; la conduite de l'alimen-  
tation deviendrait une opération beaucoup trop délicate,  
et il fallait une autre solution.

Les chocs seront supprimés, si on empêche tout retour  
en arrière de l'eau introduite dans la pipe d'alimenta-  
tion.

Nous avons essayé tout d'abord de disposer immédiate-  
ment, avant la partie crépinée du tuyau, une soupape A  
s'ouvrant de bas en haut (*fig. 6*). Le parcours de la colonne  
d'eau se trouvait ainsi réduit de moitié. Les chocs dispa-

raissaient effectivement ou, du moins, ils n'étaient pas plus intenses que le bruit d'un clapet retombant sur son siège, Toutefois cette solution ne nous paraissait pas entièrement satisfaisante, tant à cause de la nécessité de placer

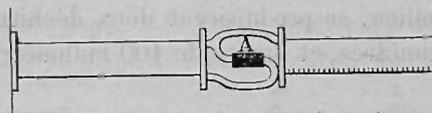


FIG. 6.

à l'intérieur d'une chaudière un clapet dont le fonctionnement pourrait, à un moment donné, ne pas être assuré, qu'à cause du faible bruit qui subsistait encore.

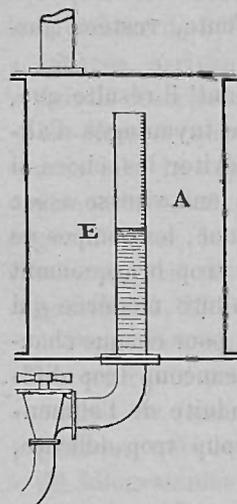


FIG. 7.

Nous avons alors recommencé nos premières expériences en disposant verticalement le coffre à vapeur A et la pipe E (fig. 7). La partie non crépinée du tuyau E devait ainsi rester constamment pleine d'eau, et la cause des chocs devait disparaître. Il nous a été, en effet, absolument impossible d'en obtenir, quelle qu'ait été l'allure de la pompe alimentaire, qu'on la manœuvrât lentement ou brusquement. C'était donc là la solution; il fallait disposer le tuyau d'alimentation de manière qu'il ne présentât aucune partie horizontale et qu'il allât toujours en montant à partir du régulateur.

Nous avons clos la série de nos expériences en opérant sur une chaudière, type locomotive, destinée au *Capitaine-Mehl* et qui avait à subir l'essai réglementaire à terre, avant sa mise à bord. L'alimentation a été établie comme l'indique la fig. 8 ci-contre.

Un premier tuyau partant d'un régulateur de façade

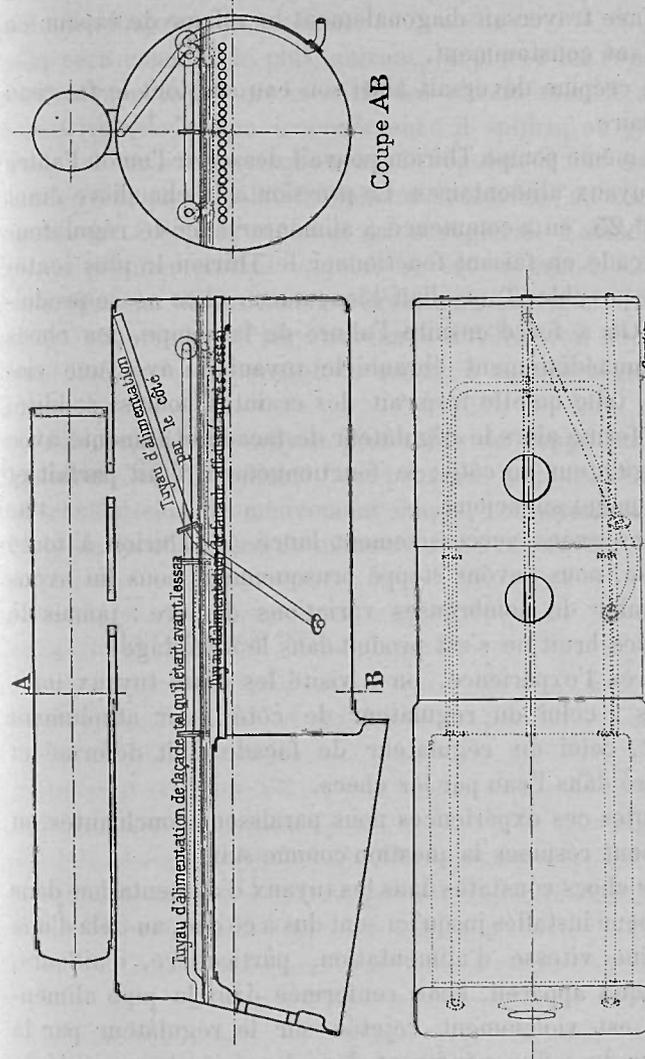


FIG. 8.

courait horizontalement dans la vapeur et reproduisait la disposition adoptée jusqu'ici; un deuxième tuyau par-

taut d'un régulateur placé sur le côté dans la partie basse de la chaudière, remontait au-dessus de l'eau, et sa partie crépinée traversait diagonalement le volume de vapeur en montant constamment.

La crépine déversait ainsi son eau sur tout le faisceau tubulaire.

La même pompe Thirion pouvait desservir l'un ou l'autre des tuyaux alimentaires. La pression à la chaudière étant de 9<sup>es</sup>,25, on a commencé à alimenter avec le régulateur de façade en faisant fonctionner le Thirion le plus lentement possible. Tout allait bien, aucun choc ne se produisait. On a forcé ensuite l'allure de la pompe, des chocs ont immédiatement ébranlé le tuyautage avec une violence telle qu'elle inspirait des craintes pour sa solidité. On a fermé alors le régulateur de façade et alimenté avec le régulateur de côté; le fonctionnement était parfait et absolument silencieux.

Nous avons successivement lancé le Thirion à toute vitesse, nous l'avons stoppé brusquement, nous lui avons fait subir de nombreuses variations d'allure: jamais le moindre bruit ne s'est produit dans le tuyautage.

Après l'expérience, on a visité les deux tuyaux intérieurs: celui du régulateur de côté était absolument intact, celui du régulateur de façade était déformé et affaissé dans l'eau par les chocs.

Toutes ces expériences nous paraissent concluantes, et l'on peut résumer la question comme suit.

Les chocs constatés dans les tuyaux d'alimentation dans la vapeur installés jusqu'ici sont dus à ce que, au-delà d'une certaine vitesse d'alimentation, particulière, d'ailleurs, à chaque appareil, l'eau renfermée dans la pipe alimentaire est violemment rejetée sur le régulateur par la vapeur du coffre pénétrant dans la pipe; le procédé le plus simple pour éviter ces mouvements d'eau et, par conséquent, les chocs, est de disposer le tuyau d'alimentation

de manière qu'il ne présente aucune partie horizontale dans toute sa longueur, y compris la partie crépinée, et qu'il aille toujours en montant.

On sera conduit, le plus souvent, à placer les régulateurs alimentaires sur le côté des chaudières. Il n'en saurait résulter aucun inconvénient; il suffira, en effet, d'installer sur le tuyautage, avant le régulateur fixé sur la chaudière et en un point facilement accessible, un second régulateur. C'est par celui-ci qu'on réglerait l'alimentation, le premier restant toujours ouvert en grand. C'est, en somme, une disposition de régulateurs analogue à celle qui est adoptée pour les chaudières d'Allest, où elle n'a donné lieu, jusqu'à présent du moins, à aucune observation.

D'ailleurs, si l'on croyait préférable de supprimer ce régulateur supplémentaire, on pourrait toujours établir une transmission de mouvement simple, renvoyant sur la façade de la chaudière la manœuvre du régulateur latéral.

La Ciotat, août 1897.

## DE L'EMPLOI DES BOULONS A CHARNIÈRE

POUR MAINTENIR

## LES OBTURATEURS AMOVIBLES

## DE CERTAINS RÉCIPIENTS DE VAPEUR

Par MM. E. POLONCEAU et C. WALCKENAER,  
Membres de la Commission centrale des machines à vapeur.

Le 28 janvier 1897, dans une fabrique-d'engrais sise à Boesse (Deux-Sèvres), un couvercle maintenu par des boulons à charnière, qui fermait l'orifice de déchargement d'un récipient de vapeur, s'est violemment détaché; l'ouvrier chargé de la conduite de l'appareil a été tué sur le coup, un autre ouvrier grièvement blessé.

Cet accident redonne une malheureuse et pressante actualité à la question des dangers que présente l'emploi des boulons à charnière pour maintenir les obturateurs amovibles de certains récipients de vapeur. Une première étude sur ce sujet, présentée par M. l'ingénieur en chef des Mines Olry et par l'un des auteurs de la présente note, a été publiée par les *Annales des Mines* au commencement de 1891 (\*). Tant par l'examen de sept accidents survenus d'octobre 1888 à septembre 1890, que par le compte rendu d'expériences directes, cette étude met en évidence l'instabilité des joints obtenus au moyen de boulons à charnière disposés sans précautions spéciales ou appliqués à des obturateurs dont la rigidité laisse à désirer. Comme conclusion, elle recommande, si

(\*) 8<sup>e</sup> série, t. XIX, p. 133 et suiv.

l'on croit devoir conserver les boulons à charnière, quelques dispositions propres à éviter, le plus possible, la déformation des bords des couvercles et l'échappement des boulons; « mais, y est-il dit, le mieux encore sera de renoncer aux boulons à charnière et de les remplacer par des boulons ordinaires traversant les bords de la bride fixe et du couvercle mobile. Celui-ci sera ainsi retenu sur la périphérie par le corps même des boulons, et non plus seulement par la pression des écrous. Si les manœuvres y perdent en rapidité, la sécurité y gagnera, et c'est là le point essentiel. »

Ce conseil peut être suivi et doit l'être dans un certain nombre de cas. Dans d'autres la rapidité des manœuvres est si nécessaire qu'on ne peut espérer voir l'industrie s'accommoder des boulons ordinaires passés dans des trous. A moins de changer radicalement le mode de fermeture, ce qui soulève d'autres questions techniques dans l'examen desquelles nous n'entrerons pas ici, l'on est donc conduit, pour certaines applications, à conserver, autant que possible, le système des boulons à charnière. Mais cela n'est permis qu'à la condition d'améliorer les dispositions des couvercles et le détail des assemblages, de manière à concilier l'emploi de ces boulons avec les exigences supérieures de la sécurité.

Faute de ces améliorations nécessaires, la construction des appareils reste vicieuse et les accidents se succèdent. La première étude, à laquelle les circonstances nous obligent à donner une suite, s'arrêtait à l'accident survenu, le 24 septembre 1890, dans une fabrique d'indiennes à Amfreville-la-Mivoie. Dès le surlendemain 26 septembre, le couvercle d'un récipient à débouillir les cotons, qui fonctionnait dans une teinturerie, à Thizy (Rhône), était violemment projeté en l'air, et cette explosion, dans ses traits essentiels, reproduisait une des précédentes, celle qui avait eu lieu, le 1<sup>er</sup> juin 1889, dans un atelier de tis-

sage de cotons à Saint-Dié. La cause en était la rupture des attaches mêmes reliant le couvercle à la cuve. Mais ce sont surtout les accidents dans lesquels les attaches lâchent prise, en se renversant autour de leurs charnières, que notre étude a en vue. Depuis la première publication, il a été rendu compte à l'Administration des Travaux publics de huit cas nouveaux où des obturateurs de récipients de vapeur, se déformant ou se brisant, se sont dégagés de leurs attaches articulées qu'ils ont renversées sans les rompre (\*). Ces huit accidents ont fait trois morts et occasionné des blessures à dix-neuf personnes. Six d'entre eux, dont deux ont entraîné mort d'homme, ont affecté des récipients dont le couvercle était formé d'une tôle insuffisamment bombée, non raccordée suivant une courbe progressive avec la partie cylindrique, armaturée à sa périphérie par une couronne de fonte ou par un cercle en fer de mauvaise forme, et dont les boulons à charnière, agissant en porte-à-faux, tendaient à infléchir, à déformer cette armature périphérique. Les deux autres, qui ont occasionné une mort et plusieurs blessures, ont porté sur des obturateurs tout en fonte.

Nous donnons ici la liste de ces différents accidents, avec l'indication sommaire de leurs conséquences; nous résumerons ensuite les circonstances caractéristiques de chacun d'eux.

(\*) Nous faisons abstraction, dans ce travail, d'un accident survenu, le 7 septembre 1891, dans une distillerie, à Bône (Algérie). Cet accident a consisté dans la rupture d'un couvercle en tôle de cuivre, à couronne périphérique en fonte, qui fermait un récipient de vapeur servant d'appareil de distillation. Mais les attaches ne consistaient pas en boulons à charnière; elles étaient constituées par trois boulons ordinaires, passés dans des trous, et deux serre-joints supplémentaires en forme de mâchoires. Aussi bien ne sont-ce point ces attaches qui ont lâché. La couronne de fonte est restée en place, et l'accident a consisté dans la déchirure de la tôle de cuivre le long de la rivure circulaire qui la réunissait à cette couronne. Cette tôle était d'épaisseur trop faible, et l'état d'entretien était défectueux.

CATÉGORIES D'ACCIDENTS	DATE	LIEU	CONSÉQUENCES DE CHAQUE ACCIDENT
Rupture des attaches	26 septembre 1890	Teinturerie à Thizy (Rhône)	Deux ouvriers légèrement blessés; démolition de la toiture métallique de l'atelier et bris de la tuyauterie.
Départ d'un couvercle, avec renversement, sans rupture, des boulons à charnière qui le maintenaient	24 juin 1891	Brasserie à Paris	Un ouvrier brûlé mortellement, un grièvement; dégâts à la toiture de l'atelier.
	27 avril 1892	Filature de ramie à Entraigues (Vaucluse)	Sept personnes blessées légèrement; plancher du premier étage de l'atelier démolit sur 30 m <sup>2</sup> et toiture sur 40 m <sup>2</sup> .
	26 avril 1893	Teinturerie à Roanne (Loire)	Un ouvrier tué sur le coup, un blessé d'une manière grave, deux légèrement. Dégâts importants; renversement d'un mur de 10 mètres de long et de la toiture qu'il supportait. Le couvercle a été projeté à 90 mètres.
	14 décembre 1893	Distillerie locomobile à Grésy-sur-Isère (Savoie)	Un ouvrier grièvement brûlé; le couvercle a été projeté sur la toiture d'un hangar distant de 10 mètres.
	22 octobre 1894	Distillerie locomobile à Issoudun (Indre)	Le couvercle a été projeté à 30 mètres; pas d'accident de personnes.
	24 octobre 1894	Même appareil à St-Lizaigne (Indre)	Couvercle projeté à 40 mètres.
Couvercle en fonte	11 mai 1894	Manufacture de caoutchouc aux Lilas (Seine)	Quatre ouvrières blessées, dont l'une parce qu'elle fit une chute en fuyant au bruit de l'accident; une cloison renversée, une autre traversée par un fragment du couvercle.
	28 janvier 1897	Fabrique d'engrais à Boesse (Deux-Sèvres)	Un ouvrier tué sur le coup, un grièvement blessé; mur de 1 <sup>m</sup> .20 de hauteur renversé sur une longueur de 2 mètres.

Accident du 26 septembre 1890, dans une teinturerie à Lizy (Rhône). — Dans cet accident, comme dans son analogue du 1<sup>er</sup> juin 1889 (\*), le couvercle ne s'est point dégagé de ses attaches par déformation ou rupture, les attaches n'ont point lâché prise par rotation autour des charnières; mais ces attaches, qui étaient de mauvaise forme et trop peu résistantes, se sont brisées. Le diamètre du récipient était 1 mètre, sa soupape devait être réglée pour la pression de 3 kilogrammes par centimètre carré; les attaches, au nombre de huit, étaient formées chacune d'une tige coudée en fer forgé, adaptée à charnière sur le bord de la cuve et dont la partie supérieure, ramenée au-dessus du bord du couvercle, servait d'écrin à une vis qui s'abaissait sur ce bord pour y faire pression. La section transversale de ces tiges coudées était rectangulaire, d'environ 0<sup>m</sup>,046 × 0<sup>m</sup>,018, assez irrégulière d'ailleurs.

Il a été constaté, après l'accident, que le couvercle n'avait subi que des déformations insignifiantes, mais que six des huit tiges coudées étaient rompues; la septième s'était faussée, une seule était intacte. Les cassures se sont produites les unes dans la partie droite de la tige, les autres dans l'angle supérieur. Elles présentaient un grain très cristallin à larges facettes, et, bien que les surfaces fussent déjà rouillées quand le service des Mines a pu faire ses constats, elles ont paru montrer des traces de fissures anciennes et de dessoudures.

Pour une pression de 3 kilogrammes par centimètre carré dans l'appareil, l'effort exercé par la vapeur sur le couvercle, supposé réparti également entre les huit attaches et s'exerçant suivant l'axe des tiges, aurait correspondu pour celles-ci à un effort de 3 ou 4 kilogrammes par millimètre carré; mais on sait que ce n'est pas ainsi, tant s'en

(\*) *Loc. cit.*, p. 143.

faut, que l'on peut évaluer la fatigue du métal en pareil cas. La force résultant de la pression de vapeur n'est souvent qu'une minime partie de l'effort qui s'exerce sur les attaches, car à cette force il faut ajouter celle résultant du serrage de chaque vis. Ce serrage est fonction du pas de la vis, de la longueur du bras de levier sur lequel l'ouvrier agit, de la force musculaire déployée par cet ouvrier. Il est telles attaches qui seraient exposées à casser par la seule action du serrage, en l'absence de toute pression dans l'appareil; et la tendance naturelle des ouvriers à serrer le plus possible pour assurer l'étanchéité, en s'aidant parfois de rallonges pour augmenter le bras de levier sur lequel ils agissent, nécessite des attaches extrêmement solides, si l'on veut éviter ce genre de danger. Ajoutons à cela que le serrage n'est jamais égal entre les différentes attaches et qu'il s'en faut le plus souvent de beaucoup que cette égalité soit réalisée, surtout lorsque les ouvriers serrent les vis de proche en proche en suivant la circonférence du couvercle, au lieu d'adopter un ordre de serrage méthodique mettant successivement en tension des groupes symétriques d'attaches.

Enfin, dans le cas présent, les efforts résultant soit du serrage des vis, soit de la pression de la vapeur, et transmis par les vis de pression, étaient loin de s'exercer purement et simplement suivant l'axe des tiges à charnière; la forme coudée de ces tiges introduisait des efforts de flexion capables d'accroître encore singulièrement la fatigue du métal, surtout à l'angle de chaque coude.

Ce premier accident, en résumé, nous rappelle la nécessité de donner aux attaches une forme rationnelle au point de vue de leur résistance propre, une solidité qui les mette à l'abri du danger de détérioration par les serrages les plus énergiques à prévoir, et de les calculer en prévision d'une répartition éventuellement fort inégale de l'effort total à supporter.

L'enseignement qui ressortira de l'étude des accidents suivants concernera la constitution des couvercles eux-mêmes.

Accident du 24 juin 1891, dans une brasserie, à Paris. — Le récipient qui a donné lieu à cet accident était un vase cylindrique en cuivre de 0<sup>m</sup>,54 de diamètre, 0<sup>m</sup>,69 de hauteur, 160 litres de capacité, cerclé à sa partie supérieure par une collerette de fonte. Le couvercle était formé d'une tôle de cuivre de 2<sup>mm</sup>,6 d'épaisseur, emboutie sous la forme générale d'une calotte sphérique de 0<sup>m</sup>,66 de rayon, avec couronne de renforcement à son pourtour.

Cette couronne était en fonte. D'une épaisseur variant de 17<sup>mm</sup>,5 à 20 millimètres, son profil, que représente la *fig. 1*, était contourné et anguleux. Elle était assemblée à la calotte emboutie au moyen de dix rivets de 5 millimètres de diamètre, disposés symétriquement sur son pourtour.

Ce n'était pas d'une manière immédiate que le couvercle venait reposer sur la partie fixe. Il y avait dans l'appareil, comme le fait comprendre la *fig. 2*, un tamis métallique formant vase intérieur, qui se terminait en haut par un rebord horizontal en cuivre, revêtu de caoutchouc sur ses deux faces. Ce rebord était pincé

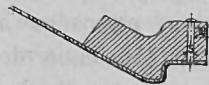


Fig. 1.

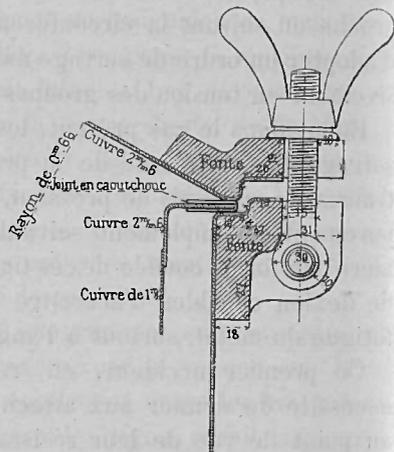


Fig. 2.

entre les deux pièces, et son caoutchouc était destiné à assurer l'étanchéité du joint.

On voit que les attaches du couvercle auraient agi en porte-à-faux et imposé à la fonte des efforts de flexion, quand même elles auraient fait appui seulement sur le bord de la couronne telle que nous venons de la décrire. Mais il n'en était pas ainsi. La couronne portait à son pourtour dix oreilles à encoche, en saillie vers l'extérieur, et c'était dans les encoches de ces oreilles que venaient se placer les dix boulons de fixation, comme le représente la *fig. 2*. De cette façon le porte-à-faux, compté du milieu de la zone d'appui sur le caoutchouc à l'axe des boulons, était de 37 millimètres.

Sous la pesée des écrous ainsi disposés, la couronne de fonte tendait naturellement à se rompre suivant des sections méridiennes. C'est en effet ce qui arriva.

Le récipient avait été, semble-t-il, établi par le constructeur en vue de fonctionner sous une pression maximum de 2 kilogrammes par centimètre carré; à en croire l'usine, on ne dépassait pas 1,5 en pratique. Mais le manomètre de l'appareil était en mauvais état, des indices suspects ont été relevés quant à l'état de la soupape, dont peut-être le clapet adhérait au siège, et il se peut que ces pressions aient été assez largement dépassées. La vapeur était fournie par un réservoir commun à deux chaudières timbrées à 6 et 8 kilogrammes, et fonctionnant habituellement à 4 kilogrammes par centimètre carré, disent les uns, entre 4 et 5, disent les autres. Un appareil construit pour fonctionner à 2 de pression ne devrait pas faire explosion à 5, s'il présentait un coefficient de sécurité suffisant; mais, au surplus, on n'a même pas de preuve directe que la pression de 2 kilogrammes par centimètre carré ait été dépassée.

Ce qui est certain, c'est que le couvercle s'est brisé de la manière qu'on pouvait prévoir, étant donnée sa consti-

tution défectueuse : la couronne de fonte s'est rompue suivant des sections transversales. Elle était, après l'explosion, cassée en cinq morceaux ; les cassures étaient assez régulièrement réparties : trois d'entre elles passaient par des trous de rivets d'assemblage avec la calotte, les deux autres par des oreilles. Presque toutes étaient fraîches ; l'une d'elles cependant paraissait rouillée ou entartrée sur ses deux lèvres. Les boulons à charnière étaient tous intacts et simplement rabattus ; les bords des oreilles étaient d'ailleurs en bon état, et l'on n'y voyait pas de traces de glissement ; le renversement des boulons n'avait été, dans le cas présent, que la conséquence naturelle de la rupture du couvercle.

Accident du 27 avril 1892, dans une filature de ramie, à Entraigues (Vaucluse). — Un trait assez remarquable distingue cet accident : il se compose non point d'une, mais de deux explosions presque simultanées, projetant les couvercles de deux récipients analogues qui fonctionnaient l'un près de l'autre. Ces récipients, contenant le mélange aqueux des matières à élaborer, étaient chauffés jusqu'à une pression de vapeur voisine de 3 kilogrammes par centimètre carré, non directement par injection de vapeur, mais par la chaleur d'un serpentin couché au fond de chaque cuve et communiquant seul avec les générateurs. Le plus grand des deux appareils, de 1<sup>m</sup>,50 de diamètre (capacité, 2<sup>m</sup>3,5), avait sa cuve faite en tôle de fer de 9 millimètres d'épaisseur et cerclée à sa partie supérieure par une collerette de même métal, à profil de cornière ; sur cette collerette était fixé un cercle de fer formant surépaisseur au bord, de manière à laisser entre lui et la tôle de la cuve, comme la *fig. 3* le montre, une gorge de 8 millimètres de profondeur et 28 millimètres de large, destinée à loger un joint en caoutchouc. Le couvercle était formé aussi d'une tôle de fer de 9 millimètres ; cette tôle était emboutie

dans sa partie centrale sous la forme d'une calotte sphérique de 3<sup>m</sup>,5 de rayon, courbure insuffisante qui ne correspondait qu'à une flèche de 0<sup>m</sup>,08 ; de plus, son pourtour était plan et simplement renforcé par un cercle en fer de 20 millimètres d'épaisseur et 60 millimètres de largeur. Ce couvercle était assujéti par quatorze boulons à charnière : pour donner prise à leurs écrous, des pattes à encoche, en nombre égal, étaient fixées, chacune par trois rivets, sur la tôle du couvercle et sur son cercle de renforcement, comme le montrent les croquis *fig. 4* et *5*. Les boulons à charnière mesuraient 25 millimètres de diamètre au fond des filets ; leurs axes, lorsqu'ils étaient verticaux, se trouvaient à 20 millimètres en dehors du bord de la collerette et du couvercle, et leurs écrous, munis d'oreilles, avaient à

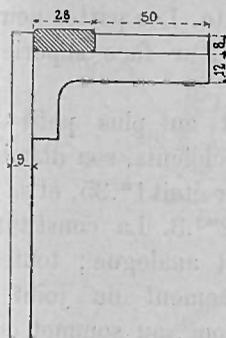


FIG. 3.

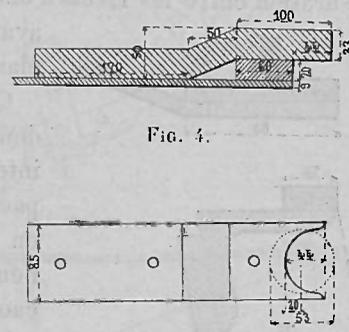


FIG. 5.

leur base un diamètre de 53 millimètres, de sorte que la position relative de l'écrou et de la patte à encoche était normalement celle que représente d'une manière approximative la *fig. 5*.

On voit, d'une part, que ce couvercle, d'une forme dépourvue de stabilité, était loin d'être suffisamment armé pour présenter la rigidité voulue ; d'autre part, que l'appui des écrous ne présentait aucune garantie. Il suffisait

d'une rupture d'un des côtés d'une encoche pour compromettre l'attache, d'un glissement de peu d'amplitude pour faire échapper l'écrou; et rien ne s'opposait à ce glissement, sinon un frottement qui pouvait être surmonté par un déversement résultant d'un commencement de déformation du couvercle ou d'un fléchissement de la patte.

Or précisément les pattes n'étaient pas assez solides ni le couvercle capable de résister sans danger d'avarie aux efforts de flexion que ces pattes exerçaient sur lui. C'est ce que les faits avaient prouvé dès avant l'accident. Bien que l'appareil datât seulement de 1888, cinq pattes avaient déjà dû être remplacées, s'étant brisées en travers; et une contre-pièce de  $0^m,12 \times 0^m,37$ , indiquée en pointillé sur la *fig. 7*, avait été mise au couvercle à la suite d'une fissuration entre les rivets d'une patte. Les pattes neuves avaient leur face supérieure plane.

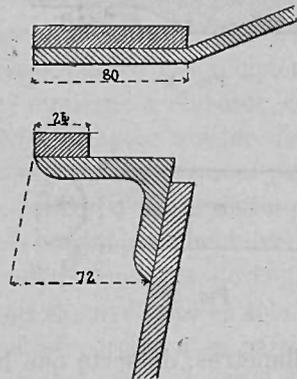


Fig. 6.

la *fig. 6*. Ce récipient, qui datait de 1884, n'avait subi aucune réparation jusqu'au jour de l'accident.

Il paraît qu'on venait de constater aux manomètres de ces appareils une pression de 2,75 kilogrammes par centimètre carré, conforme à la pratique ordinaire des opéra-

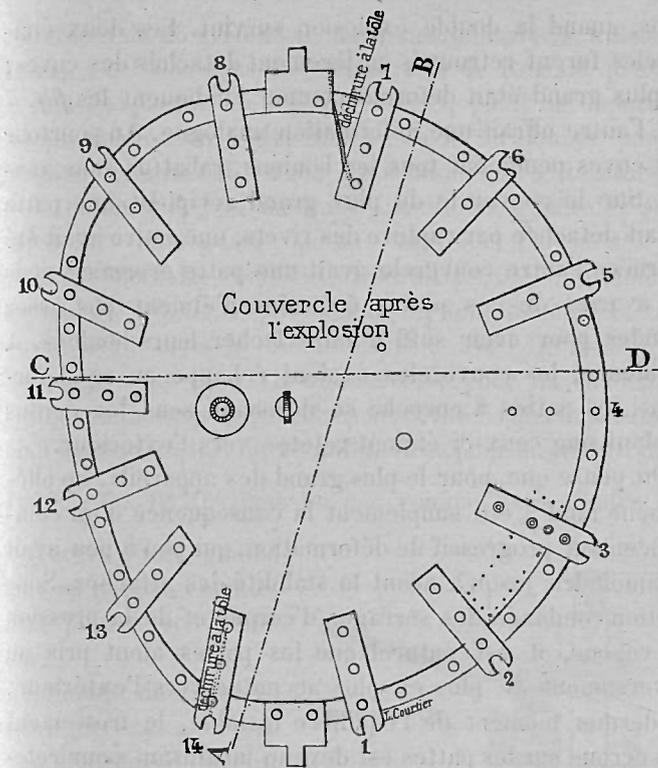


Fig. 7.

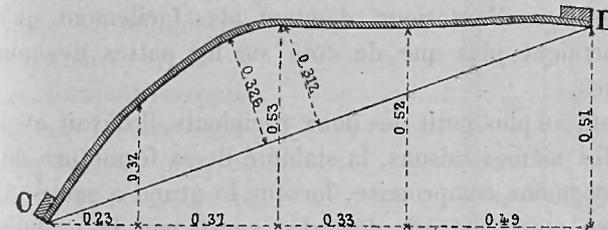


Fig. 8.

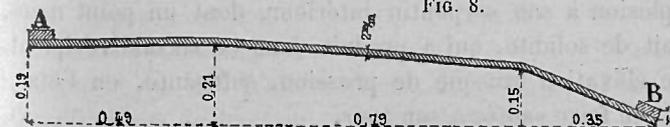


Fig. 9.

tions, quand la double explosion survint. Les deux couvercles furent retrouvés entièrement détachés des cuves; le plus grand était déformé comme l'indiquent les *fig.* 7 à 9, l'autre offrait une déformation analogue. Au pourtour des cuves pendaient tous les boulons, rabattus sans avarie. Sur le couvercle du plus grand récipient une patte s'était détachée par rupture des rivets, une autre avait été écornée; l'autre couvercle avait une patte écornée; mais les avaries de ces pattes écornées n'étaient pas assez grandes pour avoir suffi à faire lâcher leurs boulons. A l'évidence, les couvercles avaient échappé en se déformant, les pattes à encoche se dérochant sous les écrous pendant que ceux-ci étaient rejetés vers l'extérieur.

On pense que, pour le plus grand des appareils, ce phénomène final a été simplement la conséquence d'un commencement progressif de déformation, qui peu à peu avait dû amoindrir jusqu'à néant la stabilité des attaches. Sous l'action combinée des serrages d'écrous et de la pression de vapeur, il est naturel que les pattes aient pris un déversement de plus en plus accentué vers l'extérieur; au dernier moment de l'équilibre instable, le frottement des écrous sur les pattes est devenu insuffisant pour retenir le couvercle, et les boulons, réciproquement, ont été rejetés vers l'extérieur, d'autant plus facilement qu'ils ne portaient plus que de côté sur les pattes devenues obliques.

Quant au plus petit des deux récipients, il devait avoir, pour les mêmes raisons, la stabilité de sa fermeture déjà plus ou moins compromise, lorsque le grand a sauté. On suppose que c'est un désordre causé par la première explosion à son serpentin intérieur, dont un point manquait de solidité, qui a produit dans ce second récipient une élévation brusque de pression, suffisante, en l'état, pour le faire sauter à son tour.

Accident du 26 avril 1893, dans une teinturerie, à Roanne (Loire). — C'est dans une teinturerie de Roanne qu'avait eu lieu l'explosion du 4 octobre 1888, point de départ de l'étude publiée en 1891. Malgré la leçon donnée par ce premier événement, c'est dans une autre teinturerie de la même ville, et dans des conditions générales sensiblement analogues, qu'est survenu l'accident du 26 avril 1893. Le récipient mesurait 1<sup>m</sup>,485 de diamètre au lieu de 1<sup>m</sup>,35; l'épaisseur de la tôle formant le couvercle était dans le même rapport avec le timbre de l'appareil: de 12 à 13 millimètres, pour un timbre de 5 kilogrammes par centimètre carré, tandis que la première fois l'épaisseur était de 10 millimètres pour un timbre de 4

( $10 \times \frac{5}{4} = 12,5$ ). Dans un cas comme dans l'autre, le couvercle était bombé dans sa partie centrale, mais plan à son pourtour.

Le mode de raidissement de ce pourtour était toutefois différent; au lieu d'un cercle en fer, de 17 millimètres d'épaisseur et 0<sup>m</sup>,13 de large, formant surépaisseur sur la face extérieure du bord plat, on avait ici une cornière de 15 millimètres d'épaisseur, disposée au-dessous du bord plat comme l'indique la *fig.* 10. L'aile verticale de cette cornière, de 40 millimètres de hauteur, venait s'appuyer sur la garniture logée dans une rainure de 35 millimètres de profon-

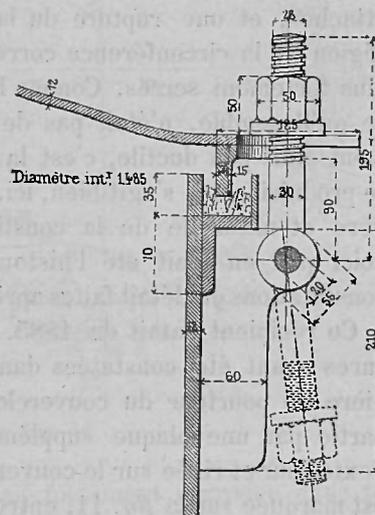


FIG. 10.

deur à la partie supérieure du récipient; des encoches ménagées dans le pourtour plan et dans l'aile horizontale de la cornière recevaient vingt-huit boulons à charnière, dont les écrous venaient faire appui sur les côtés des encoches. Le porte-à-faux, compté du milieu de l'épaisseur de l'aile verticale de cornière à l'axe du boulon, était de  $62^{\text{mm}},5$ .

Il suffit de regarder la *fig. 10* pour comprendre combien cette disposition était déféctueuse. La ligne d'appui de l'aile verticale de la cornière sur la garniture du joint était comme faite à plaisir pour servir de charnière au mouvement de déversement du bord du couvercle, qui tendait à se produire sous l'action du serrage des boulons. Il n'y avait que le choix, comme effet final, entre une déformation assez accusée pour faire échapper les attaches, et une rupture du bord du couvercle dans la région de la circonférence correspondant aux boulons les plus fortement serrés. Comme la tôle de ce couvercle, à ce qu'il semble, n'était pas de bonne qualité et notamment était peu ductile, c'est la rupture du couvercle qui se produisit; et il s'agit bien, ici, d'une conséquence régulière et naturelle de la constitution de l'appareil, car voici quel en avait été l'histoire et quelles furent les constatations de détail faites après l'explosion.

Ce récipient datait de 1885. En 1890, « quelques fissures ayant été constatées dans le voisinage de la cornière de pourtour du couvercle (\*), on a renforcé cette partie par une plaque supplémentaire de tôle posée à l'extérieur et rivée sur le couvercle ». Cette contre-plaque est marquée sur la *fig. 11*, entre les attaches 22 et 26. On remarquera l'analogie de sa forme avec celle de la partie A, qui se trouva arrachée du reste du couvercle lors de l'explosion d'avril 1893.

(\*) Extrait du rapport dressé au sujet de l'accident par M. l'ingénieur des Mines Coste.

A la suite de cette explosion, le couvercle, dont la partie A était enlevée, ainsi que le tenon  $\gamma$ , avait pris la forme représentée par les *fig. 12* et 13. M. Coste a cons-

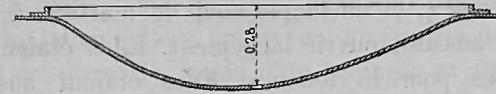


FIG. 12. — Coupe XY.

FIG. 13. — Coupe RS.

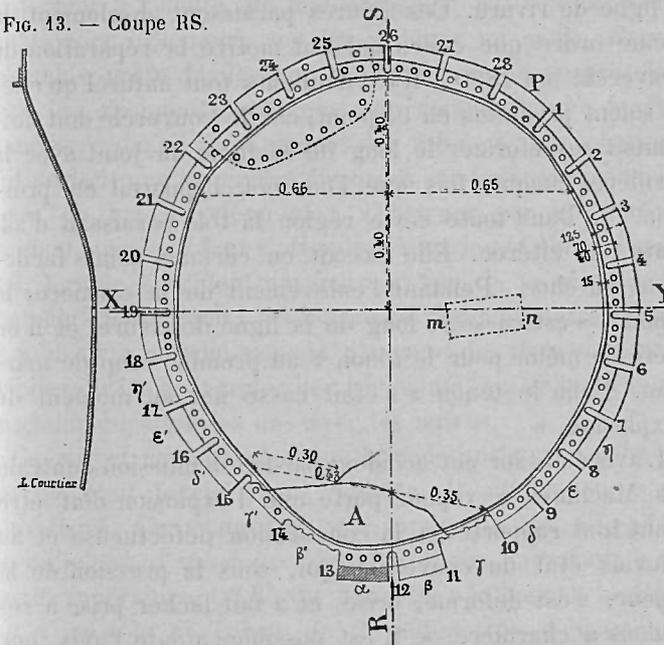


FIG. 11.

taté que la cornière était fortement corrodée dans tout son ensemble, et que la tôle du couvercle présentait, sur sa face intérieure, un sillon de corrosion le long de sa jonction avec la cornière. « En dehors de ces corrosions, écrit-il, on voyait en divers points des commencements de fissures fort nettes. La cassure de la partie arrachée de

la tôle paraissait en divers points fort ancienne. J'ai fait dériver la cornière (voir *fig. 11*) à droite et à gauche de la cassure sur une certaine longueur pour pouvoir examiner ces fissures plus aisément; elles étaient très nettes pour le tenon  $\eta$ , et un simple coup de marteau à frapper les a fait aussitôt ouvrir largement. Elles étaient moins importantes pour le tenon  $\epsilon$ . Elles étaient aussi fort nettes en face de  $\eta$ , mais se trouvaient ici surtout dans la ligne de rivure. Ces fissures paraissent absolument du même ordre que celles qui ont motivé la réparation du couvercle (en 1890). Il est d'ailleurs tout naturel qu'elles se soient produites en ce point, car le couvercle doit nettement se déformer le long de la ligne du joint avec la cornière chaque fois que l'on met l'appareil en pression (\*). Dans toute cette région la tôle paraissait d'ailleurs fort altérée. Elle cassait en certains points facilement au choc. Pendant l'enlèvement de la cornière, le tenon  $\delta$  s'est cassé le long de la ligne de rivure, et il en a été de même pour le tenon  $\delta'$  au premier coup de marteau. Enfin le tenon  $\alpha$  s'était cassé net au moment de l'explosion. »

L'avis émis sur cet accident par la Commission centrale des Machines à vapeur porte que l'explosion doit être avant tout rapportée à la constitution défectueuse et au mauvais état du couvercle qui, sous la pression de la vapeur, s'est déformé, brisé, et a fait lâcher prise à ses boulons à charnière. « Il est possible, ajoute l'avis, que la pression ait été plus forte que de coutume ou que les boulons aient été mal en prise, mais ces hypothèses ne sont pas nécessaires pour expliquer l'accident. »

— Accident du 14 décembre 1893, à Grésy-sur-Isère (Savoie).  
— Le récipient qui a sauté le 14 décembre 1893 à Grésy-

(\*) Et chaque fois que l'on met les boulons en serrage.

sur-Isère était un vase de distillerie locomobile. La distillerie, montée tout entière sur un chariot, comprenait une chaudière à vapeur timbrée à 4 kilogrammes par centimètre carré et trois vases à distiller timbrés à 1. Ces récipients pouvaient recevoir chacun directement la vapeur de la chaudière au moyen d'un tuyau de 25 millimètres de diamètre, muni d'un robinet, et ils avaient entre eux des communications que l'on pouvait ouvrir ou fermer à volonté, de manière qu'on pût soit les faire fonctionner isolément, soit les grouper en série. Pareil ensemble prête facilement au danger d'une surpression dans les récipients, soit que l'on commette une fausse manœuvre dans l'arrangement des robinets d'évacuation, soit surtout que les grilles disposées sur les tuyaux abducteurs de vapeur viennent à s'obstruer par les marcs, incident auquel il faut s'attendre. Mais les témoins disent que, lors de l'accident qui nous occupe, la pression à la chaudière n'était que 1,5 kilogramme par centimètre carré, et qu'il n'y a eu soulèvement d'aucune des trois soupapes placées sur les couvercles des récipients, qui se trouvaient en communication les uns avec les autres.

Ce qui est certain, c'est que la constitution de ces couvercles était foncièrement vicieuse. Il suffit, pour s'en convaincre, d'un coup d'œil jeté sur les *fig. 14, 15 et 16*. Le récipient, d'une capacité de 380 litres, mesurait, à sa partie supérieure, 0<sup>m</sup>,65 de diamètre; le couvercle était fait d'une tôle de cuivre de 2 millimètres d'épaisseur, bombée sous une flèche de 3 centimètres seulement et rivée à son pourtour, au moyen de rivets en cuivre de 10 millimètres de diamètre, sur une couronne en fonte dont la *fig. 16* donne la section à grande échelle. Cette couronne, non seulement était en fonte, mais avait un profil absolument défectueux; elle était affaiblie par une gorge circulaire de 10 millimètres de profondeur et 20 de largeur, contre-partie d'une nervure portée par la colle-

rette fixe du récipient. Ainsi l'on avait été mal avisé jusque

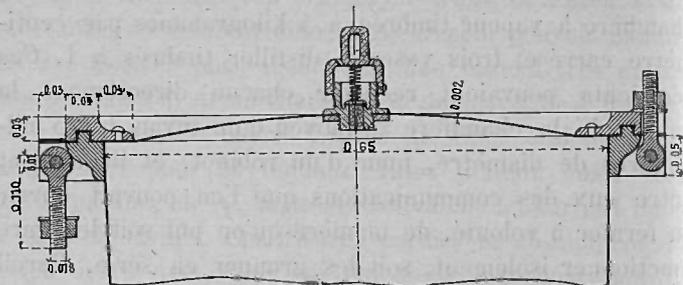


FIG. 14.

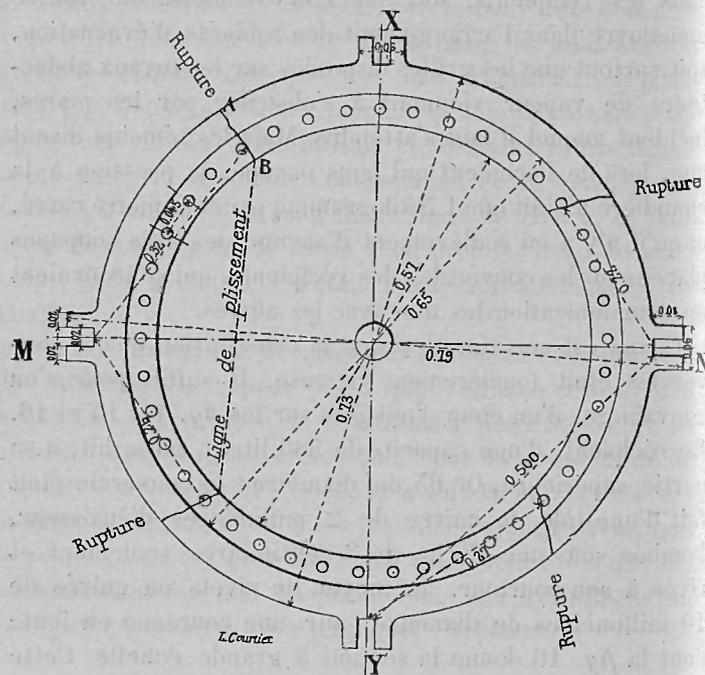


FIG. 15.

dans le choix de la partie creuse et de la partie saillante du joint; car, à choisir, il eût été moins mauvais pour la

résistance du couvercle que sa couronne portât la nervure saillante et que la contre-partie concave appartint à la collerette fixe. Mais ce n'est pas tout. Cette gorge circulaire était à arêtes vives; tout le profil de la couronne était anguleux, contourné, et tout à fait impropre à l'obten-

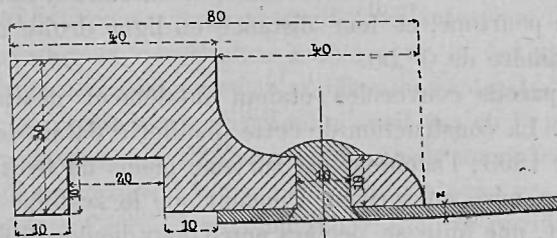


FIG. 16.

FIG. 17. — Coupe suivant MN de la fig. 15.

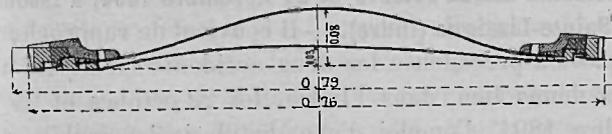
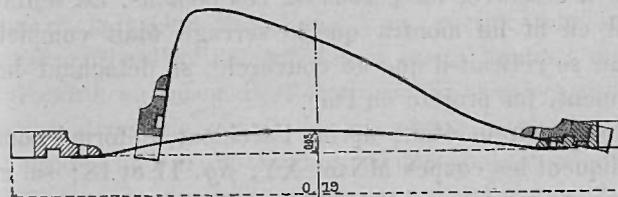


FIG. 18. — Coupe suivant XY de la fig. 15.

tion d'une pièce de fonte saine et résistante. On faisait travailler cette pièce par flexion, car les boulons à char-

nière agissaient sur des tenons à encoche qui faisaient saillie au pourtour de la couronne, comme le montrent les *fig. 14 et 15*. Enfin le nombre de ces attaches était absolument insuffisant. Elles étaient au nombre de quatre seulement, de sorte qu'il suffisait que l'une vint à manquer pour que le couvercle cessât d'être maintenu sur la moitié de son pourtour, et leur distance en ligne droite n'était pas moindre de 0<sup>m</sup>,50.

De pareils couvercles étaient fatalement destinés à sauter. La construction de cette distillerie datait de septembre 1893; l'accident est survenu moins de trois mois après sa mise en service. Pendant que le système fonctionnait, une fuite se déclara entre deux boulons du couvercle sur le récipient du milieu. L'ouvrier chargé de conduire l'appareil n'eut rien de plus pressé que de chercher à resserrer les écrous de ces boulons. La tentative qu'il en fit lui montra que le serrage était complet; à peine se retirait-il que le couvercle, se détachant brusquement, fut projeté en l'air.

Ce couvercle était, après l'accident, déformé comme l'indiquent les coupes MN et XY, *fig. 17 et 18*; sa couronne était rompue en quatre points situés, ainsi que la *fig. 15* le montre, à peu près au milieu des intervalles des quatre attaches, c'est-à-dire aux points théoriques où cette couronne devait casser.

**Accidents des 22 octobre et 24 novembre 1894, à Issoudun et à Sainte-Lizaigne (Indre).** — Il convient de rapprocher de l'explosion précédente les deux accidents successifs auxquels donna lieu, dans l'Indre, les 22 octobre et 24 novembre 1894, l'emploi d'une distillerie locomobile analogue. Celle-ci, absolument neuve, était à son cinquième jour de fonctionnement, quand le couvercle d'un de ses vases sauta pour la première fois. Sa chaudière était timbrée à 6 kilogrammes par centimètre carré; chacun des trois

vases à distiller, de 0<sup>m</sup>,55 de diamètre, avait son couvercle formé d'une feuille de cuivre de 1<sup>mm</sup>,25 d'épaisseur, emboutie en forme de calotte sous une flèche de 0<sup>m</sup>,07 et cerclée d'une couronne qui était en fonte et qui n'avait que 19 millimètres d'épaisseur. Cette couronne, comme celle qui s'était brisée à Grésy-sur-Isère, portait des projections extérieures formant oreilles saillantes pour l'action en porte-à-faux des boulons à charnière, et ces attaches défectueuses n'étaient qu'au nombre de quatre.

Par surcroît, le constructeur n'avait pas eu la précaution, prise par celui de l'autre appareil, de munir les récipients de soupapes de sûreté, et il ne les avait pas même présentés à l'épreuve réglementaire. Rien ne justifiait ces omissions. Lorsqu'une distillation était en train dans des conditions normales, les récipients communiquaient directement ou indirectement avec un tuyau abducteur qui conduisait la vapeur alcoolique à un rectificateur suivi d'un serpentín d'où l'alcool devait sortir liquide; mais, tout d'abord, en raison de l'étroitesse des tuyaux par où la vapeur alcoolique sortait des récipients, il n'est nullement prouvé qu'il n'existât alors aucune pression effective notable dans le système, au moins à l'amont quand les vases fonctionnaient en série. Puis ces tuyaux étaient pourvus chacun d'un robinet à main qu'aucune disposition matérielle n'empêchait de fermer intempestivement, si même on ne le fermait pas de propos délibéré à certains moments des opérations. Enfin, et c'est apparemment ce qui, en pratique, était le plus à craindre, l'origine de chacun de ces tuyaux dans le vase correspondant, munie d'une grille à trous de 3 millimètres pour arrêter le marc entraîné, devait être fortement exposée à se trouver bouchée par ce marc.

En fait, dès que l'appareil fut mis en service, il suffisait que la pression à la chaudière fût de 2,5 kilogrammes par centimètre carré pour produire de nombreuses fuites aux

rivures et aux joints des couvercles. Plus on serrait les boulons, plus les fuites des rivures augmentaient. Enfin, le cinquième jour, le couvercle d'un des récipients se détacha violemment et fut projeté dans la cour d'une maison voisine; son armature de fonte fut trouvée cassée suivant six sections; quatre de ces cassures paraissaient préexistantes. On répara l'appareil, puis on le remit en service. Dès le premier jour, un des récipients se rompit par le fond, car ils n'étaient par aucun bout en état de résister aux pressions de leur service. On mit une pièce et l'on recommença à travailler. Quelques jours après, la pression à la chaudière était d'environ 1,5 kilogramme par centimètre carré et la distillation commençait, lorsque le couvercle neuf fut, à son tour, projeté à 50 mètres de distance. Il est inutile d'insister longuement sur de pareils faits.

Accident du 11 mai 1894, dans une manufacture de caoutchouc, aux Lilas (Seine). — Voici maintenant un couvercle entièrement en fonte, fermant un récipient à pression

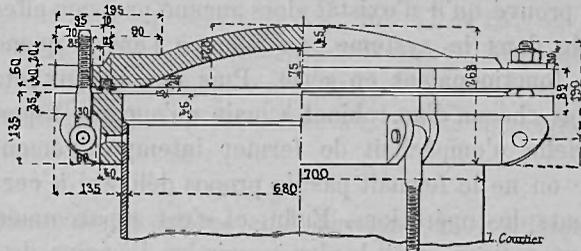


FIG. 19.

relativement élevée. Il s'est rompu aux Lilas, dans une manufacture de caoutchouc. Le récipient à vulcaniser, cylindrique horizontal, dont cet obturateur servait à clore l'une des extrémités, mesurait 0<sup>m</sup>,70 de diamètre et 2<sup>m</sup>,15 de longueur; son timbre était de 6 kilogrammes. Le couvercle, représenté par les fig. 19 à 21, était

creusé d'une rainure circulaire, recevant le cercle en caoutchouc destiné à faire joint, et ayant comme contre-partie une nervure saillante sur la collerette du cylindre.

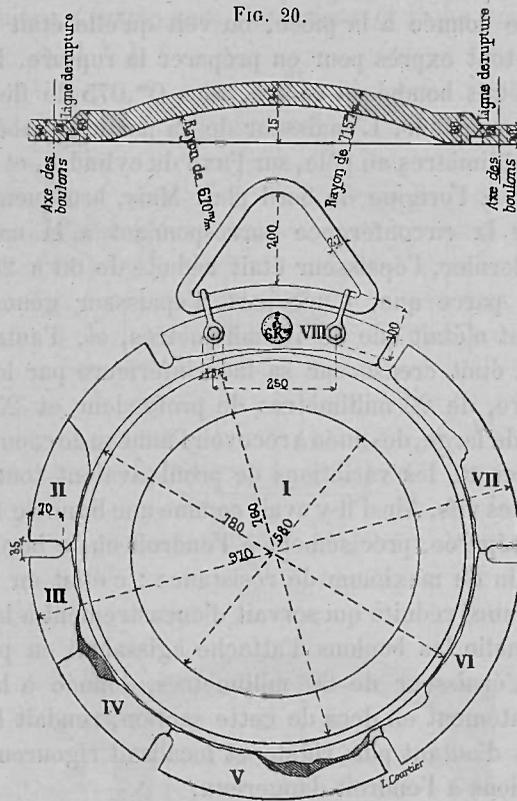


FIG. 21.

L'assemblage était maintenu par 6 boulons à charnière seulement, distants d'axe en axe de 0<sup>m</sup>,425, engagés dans des encoches de la périphérie du couvercle, et agissant avec un porte-à-faux qui, mesuré du milieu de la gorge à l'axe des boulons, était de 42<sup>mm</sup>,5.

La fonte travaillait ainsi au pourtour du couvercle

dans des conditions anormales ; il y avait effort de flexion sur cette fonte, et les attaches étaient beaucoup trop peu nombreuses et trop espacées, surtout eu égard au chiffre du timbre. De plus, si l'on examine dans le détail la forme donnée à la pièce, on voit qu'elle était profilée comme tout exprès pour en préparer la rupture. Le couvercle était bombé au centre, sous  $0^m,075$  de flèche, et plat au pourtour. L'épaisseur de sa partie bombée était de 45 millimètres au pôle, sur l'axe du cylindre, et 60 millimètres à l'origine du bord plat. Mais, brusquement, le long de la circonférence correspondant à la naissance de ce dernier, l'épaisseur était réduite de 60 à 20 millimètres, parce que, d'une part, l'épaisseur générale du bord plat n'était que de 40 millimètres, et, d'autre part, ce bord était creusé sur sa face inférieure par la gorge circulaire, de 20 millimètres de profondeur et 25 millimètres de large, destinée à recevoir l'anneau de caoutchouc. Par surcroit, les variations de profil avaient toutes lieu par angles vifs. Ainsi il y avait comme une ligne de rupture toute préparée, précisément à l'endroit où le bord aurait eu besoin du maximum de résistance : c'était en effet la section ainsi réduite qui servait d'encastrement à la partie sur laquelle les boulons d'attache agissaient en porte-à-faux. L'épaisseur de 60 millimètres, donnée à la fonte immédiatement en deçà de cette section, rendait l'encastrement d'autant plus rigide et localisait rigoureusement les flexions à l'endroit dangereux.

Ce couvercle devait finir par casser le long de sa ligne faible, et c'est bien ce qui est arrivé : la *fig. 21*, donnant les lignes de brisure, le montre nettement. Dans le sens radial, les fragments étaient pour la plupart limités par des encoches, de sorte que, d'une façon générale, la fragmentation de la pièce s'est faite comme on pouvait le prévoir *a priori*.

Accident du 28 janvier 1897, dans une fabrique d'engrais, à Boesse (Deux-Sèvres). — Nous venons de voir un obturateur de fonte qui part parce qu'il se brise ; nous allons en voir un qui se détache violemment, parce qu'un boulon à charnière s'écarte vers l'extérieur et lâche prise.

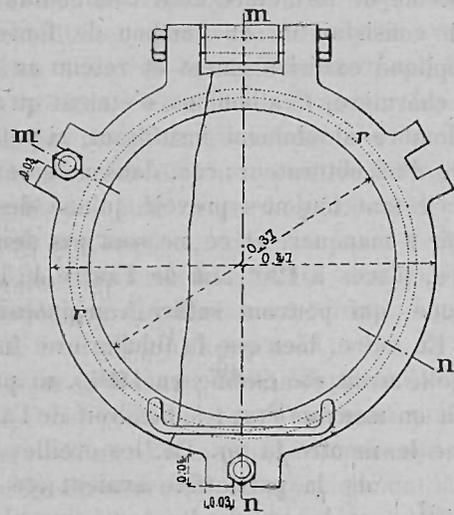
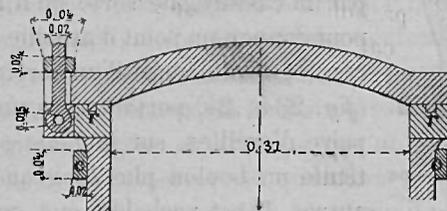


FIG. 22.

FIG. 23. — Coupe suivant *m'n'*.

L'appareil qui a donné lieu à ce dernier accident est un grand récipient cylindrique à axe vertical, pourvu d'une soupape réglée pour la pression de 3 kilogrammes par centimètre carré, et mesurant  $0^m,90$  de diamètre et  $2^m,40$  de hauteur ; mais l'ouverture fermée par l'obturateur qui

s'est détaché était celle d'une simple tubulure de 0<sup>m</sup>,37 de diamètre intérieur, greffée sur la paroi cylindrique au bas de l'appareil. Le récipient servait à cuire les viandes par la vapeur afin d'en extraire les graisses, et cette tubulure était affectée à la sortie des résidus.

Son système de fermeture était rudimentaire et critiquable. Il consistait en un tampon de fonte (*fig. 22 et 23*), appliqué extérieurement et retenu au moyen de boulons à charnière. Ces boulons n'étaient qu'au nombre de trois, nombre absolument insuffisant, si petit que soit le diamètre d'un obturateur; car, dans un assemblage de ce genre, il faut toujours prévoir qu'une des attaches puisse venir à manquer, et ce ne sont pas deux boulons à charnière, placés à 120° l'un de l'autre le long de la circonférence, qui peuvent suffire à maintenir un couvercle (\*). En outre, bien que la tubulure ne fût pas très ancienne (elle avait été établie en 1894), sa partie inférieure était en mauvais état; à l'endroit de l'attache du bas, comme le montre la *fig. 24*, les oreilles primitives

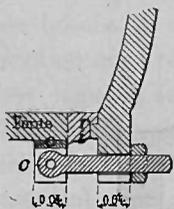


FIG. 24. — Coupe de la partie inférieure suivant *mn*.

de la partie fixe avaient été arrachées et le gueulard entamé jusqu'au point *i* par la cassure, de sorte qu'il avait fallu, pour donner un point d'attache au boulon, cercler la tubulure d'un cercle en fer *cc* (*fig. 23 et 24*) portant en *o* une nouvelle paire d'oreilles, sur laquelle on avait articulé un boulon plus long que les deux autres. Il est probable que cette avarie avait eu pour cause l'excès des serrages

que l'on donnait à l'attache du bas pour assurer l'étanchéité.

Mais, à la suite de la réparation que nous venons de décrire, cette étanchéité ne pouvait que devenir plus dif-

(\*) Le nombre de quatre attaches est lui-même insuffisant pour une raison analogue (Cf. p. 566).

feile à obtenir, puisque la cassure subsistant en *i* entamait le gueulard jusqu'à la rainure *r* du joint. Toujours est-il que, le 28 janvier, comme cette partie fuyait et laissait échapper du suif, un ouvrier se mit, paraît-il, en position pour resserrer l'écrou du boulon du bas, tandis qu'un autre s'en fut rapidement pour chercher un seau afin de recueillir le suif. Ce second ouvrier avait à peine parcouru 6 ou 7 mètres, lorsqu'il entendit une forte détonation, et le local s'emplit de vapeur. Le couvercle s'était violemment ouvert en brisant une oreille à chacune de ses attaches du haut, puis se fendant en deux morceaux dans son choc contre la paroi de la maçonnerie qui entourait le récipient, mais sans qu'il y eût d'avarie à l'attache du bas, dont les oreilles étaient intactes et dont le boulon s'était simplement rabattu autour de sa charnière.

L'homme qui se trouvait devant l'appareil avait été tué sur le coup. On peut supposer que c'est pendant qu'il cherchait à resserrer l'écrou du bas, que celui-ci a glissé sur les oreilles du couvercle et a inopinément lâché prise.

Il est du devoir des patrons d'interdire à leurs ouvriers de jamais resserrer les joints au cours du fonctionnement des appareils; mais, en pratique, cette interdiction est rarement faite; plus rarement encore les contremaitres ou autres préposés tiennent-ils la main à son observation. Il faut reconnaître qu'un ouvrier qui voit un joint fuir est fortement tenté de le serrer, et que c'est en le serrant, pourvu qu'il ne survienne pas d'accident, qu'il s'acquittera le plus heureusement de sa mission et satisfera le mieux ses chefs. Il est très sage, de la part des théoriciens, de déclarer imprudente la pratique de resserrer les joints à chaud; il s'imposerait à la conscience et à l'intérêt bien entendu des patrons, des contremaitres, des chefs-ouvriers, de s'y opposer plus sincèrement que la plupart ne le font, et avec une sévérité salutaire. Mais, en fait, on

doit s'attendre à voir cette pratique durer, et il faut en tenir compte dans la construction des pièces et la disposition des assemblages.

Ici c'est la constitution défectueuse de la fermeture qui caractérise essentiellement l'accident. Il suffit de regarder les *fig. 22 et 24* pour comprendre combien était grand le risque d'un glissement de l'écrou sur les oreilles avec lesquelles il était en prise. Il n'y avait que le frottement comme obstacle à ce glissement. Faire reposer la tenue d'un assemblage, d'où dépend la vie des hommes, sur un frottement chargé de s'opposer seul à un glissement, alors qu'il suffit que ce glissement soit de minime amplitude pour qu'une catastrophe s'ensuive, cela ne mérite-t-il pas une appréciation sévère ?

Le coefficient de frottement a pu, dans l'espèce, être d'autant plus faible que les surfaces en regard pouvaient se trouver lubrifiées par les matières grasses que l'on retirait périodiquement par le gueulard ou qui s'en échappaient quand le joint fuyait. D'autre part, nous ne savons pas au juste, d'une manière certaine, quelle était la forme de ces surfaces en regard. D'une manière générale, les oreilles de fonte comme celles-ci s'usent, elles s'arrondissent vers leurs pointes, sous l'action répétée des frottements et des chocs exercés sur elles par les boulons, lors des fermetures et des ouvertures du couvercle ; cette usure est d'autant plus accentuée que les manœuvres sont faites d'une manière plus brutale, en frappant par exemple sur les boulons pour les faire tourner autour de leur charnière, leur faire lâcher prise ou les remettre en place, alors que les écrous ne sont pas suffisamment dévissés. De leur côté, les écrous peuvent aussi éprouver une usure par action réciproque. Ces modifications des surfaces tendent nécessairement toutes à rendre instable l'équilibre du boulon. L'un des rédacteurs de la présente étude se souvient d'avoir vu, dans une

fonderie de graisses des environs de Paris, des récipients analogues à celui de Boesse, dont les tampons de fermeture, faits en fonte comme celui qui nous occupe, et assujettis de même par des boulons à charnière qu'aucune disposition spéciale ne fixait en place, avaient des oreilles dont les surfaces, émoussées vers leurs angles, donnaient à simple vue l'impression du danger de glissement des écrous.

**Exemples de dispositions recommandables. — Construction des couvercles. — Moyens d'empêcher le glissement des écrous des boulons à charnière.** — Comme contre-partie de toutes ces dispositions mauvaises, à quelles conditions doit satisfaire une fermeture par boulons à charnière ? Ainsi que nous l'avons dit, il est des cas où ce mode de fermeture ne doit pas être employé ; nous ne ferons donc pas à la question une réponse générale ; mais prenons comme exemple une classe d'appareils dont il est nécessaire que les ouvertures et fermetures soient rapides et pour lesquels, moyennant une construction appropriée et des précautions convenables, le système paraît pouvoir être conservé sans danger : ce sont les étuves à désinfection. Il s'agit de récipients timbrés à basse pression, 1 kilogramme environ, mais dont le diamètre est souvent voisin de 1 mètre ou 1<sup>m</sup>,50.

Pour que le couvercle d'un semblable appareil ne cause pas d'accident, quatre conditions principales sont à réaliser : que le couvercle ne se brise pas, qu'il ne se déforme pas, que les boulons ne lâchent pas prise par glissement des écrous, enfin que ces boulons ne cassent point.

Que le couvercle ne se brise pas. A cet effet il convient d'abord de proscrire l'emploi de la fonte. Si l'on a à cercler un couvercle à sa périphérie, ou à l'armaturer d'une façon quelconque, il faut que le cercle ou les

armatures soient en fer ou en acier, avec les formes et les dispositions nécessaires pour ne pas imposer au métal d'efforts anormaux, même sous l'action des serrages les plus énergiques des attaches. La tôle du couvercle, de son côté, doit être une tôle en fer ou en acier doux, d'une qualité supérieure, ductile en même temps que résistante.

La solidité du couvercle doit être telle que non seulement on n'ait pas à craindre sa rupture, mais qu'il ne se déforme pas. Cette expression, naturellement, ne peut pas être rigoureuse. Il y aura nécessairement, sous l'action des serrages du joint et des variations de la pression intérieure, des déformations élastiques; mais il faut que la pièce ait toute la rigidité pratiquement réalisable, non seulement pour éviter la fatigue du métal qui résulterait directement des mouvements de soufflet ou autres flexions, mais parce que des déformations un tant soit peu notables amèneraient des fuites au joint, et les ouvriers seraient inévitablement conduits à des serrages exagérés, exposant les pièces à des fissurations et à des ruptures.

Il faut donc que le couvercle soit extrêmement rigide, et, à cet effet, il doit être formé d'une tôle épaisse, emboutie suivant un profil méridien qui lui assure une forme très stable, quelles que soient les variations de pression à prévoir et les actions exercées sur le contour. Si cette stabilité n'était pas suffisante par elle-même, il faudrait la compléter par l'addition d'armatures judicieusement disposées. Mais la question des armatures est toujours délicate, et le mieux est de se passer de leur secours ou tout au moins de n'y chercher qu'un supplément surabondant de garantie. C'est pourquoi il convient décidément de renoncer à la forme de couvercle dont la tôle, bombée dans la partie centrale, reste plane à son pourtour. Cette forme n'est pas stable par elle-

même; elle ne peut aller sans une armature périphérique et cette armature travaille dans de mauvaises conditions, subissant des efforts de flexion et tendant à se déverser sous l'action des serrages d'écrous et de la pression de vapeur. La tôle elle-même présente, à la jonction de la partie bombée et du bord plat, une inflexion qui crée une zone de fatigue.

D'une manière générale, tout profil méridien qui vient rencontrer sous un angle les génératrices de la cuve cylindrique ne donne pas une forme aussi stable qu'il convient, parce que les accroissements de la pression tendent à ouvrir cet angle (\*). La tôle qui constitue le couvercle doit, par conséquent, être emboutie suivant un

---

(\*) On a dit, et pensé démontrer, que si l'on donne à un réservoir la forme d'un cylindre à base circulaire terminé par deux calottes sphériques dont le rayon soit égal au diamètre du cylindre, ce réservoir, supposé formé d'une matière homogène, isotrope, et de même épaisseur partout, se dilaterait uniformément sous l'action d'une pression intérieure, de telle sorte que l'angle vif sous lequel chacune des calottes coupe le cylindre ne serait pas altéré par la dilatation. La raison que l'on en donne, c'est que dans la théorie de l'élasticité, un cylindre à base circulaire de longueur indéfinie et une sphère, constitués d'une même matière homogène, isotrope, de même épaisseur, et soumis à des pressions intérieures égales, ont même dilatation lorsque le rayon de la sphère est égal au diamètre du cylindre. C'est tirer de prémisses justes une conséquence exagérée. Les deux problèmes de Lamé, pour le cylindre et pour la sphère, supposent, pour le cylindre, qu'il soit indéfini en longueur, ou que, s'il est fini, il se termine à chaque bout par un fond n'exerçant sur lui que des réactions parallèles à l'axe, après comme avant la dilatation; pour la sphère, qu'elle soit complète, ou si l'on considère une calotte de cette sphère, que cette calotte subisse à son contour les mêmes réactions que celles qui seraient exercées par le reste de la sphère. Les conditions au contour, relatives au cylindre fini et à la calotte sphérique, pour rester cylindre et sphère après la dilatation, ne peuvent donc être réalisées dans le réservoir supposé: elles sont incompatibles entre elles. Du reste, si un pareil réservoir se dilatait uniformément, il en résulterait, en supposant égale à zéro la hauteur de sa partie cylindrique, qu'un réservoir lenticulaire formé de deux calottes sphériques égales, ayant pour rayon de courbure le diamètre de leur base commune, se dilaterait sous l'action d'une pression intérieure sans modifier l'angle de rencontre de ses deux moitiés: conséquence manifestement fautive. — C. W.

profil fortement bombé dans son ensemble, à courbure, sinon uniforme, du moins très progressive, et venant se terminer à sa périphérie suivant un cylindre dont les génératrices soient parallèles à l'axe du récipient. Cette amorce de cylindre, qui devra être de hauteur suffisante pour assurer complètement la rigidité du pourtour, formera le prolongement du cylindre même de la cuve, à une minime différence de diamètre près.

Il est assez usuel de donner à la tôle du couvercle une épaisseur légèrement supérieure à celle de la cuve (1 millimètre de plus), et de prendre pour rayon de courbure de la partie centrale du couvercle le diamètre de la cuve. C'est ce qui a été fait, par exemple, pour le couvercle représenté *fig. 28*. Il ne faut pas donner à la courbure de la partie centrale une valeur moindre, ni par conséquent au rayon de courbure une valeur plus grande que celle-là. D'autre part, il est essentiel que le raccordement de cette partie centrale avec l'amorce de la partie cylindrique se fasse suivant un profil à courbure très douce. Si l'on incurvait le bord du couvercle suivant un congé à faible rayon, d'abord il suffirait d'un défaut dans la matière ou dans le travail pour criquer le métal lors de l'emboutissage, puis en tout cas la pièce se trouverait soumise en service à des flexions localisées dans une zone trop restreinte, à des mouvements de soufflet qui pourraient produire dans cette zone, au bout d'un certain temps, de fines amorces de fissures.

Il ne faut donc pas craindre de donner de grands rayons de courbure à ces tracés de raccordement. Voici, par exemple (*fig. 25 à 27*), diverses formes adoptées par la Compagnie du Chemin de fer d'Orléans pour des fonds emboutis placés sur ses chaudières à vapeur; la partie centrale de chacun de ces fonds est plane et évidée, parce qu'elle se trouve armaturée par un plateau qui sert d'embase aux soupapes de sûreté; nous ne donnons ces

croquis qu'au point de vue du tracé des raccordements. Il est vrai qu'il s'agit d'appareils à vapeur fonctionnant sous des pressions plus élevées que les étuves à désinfec-

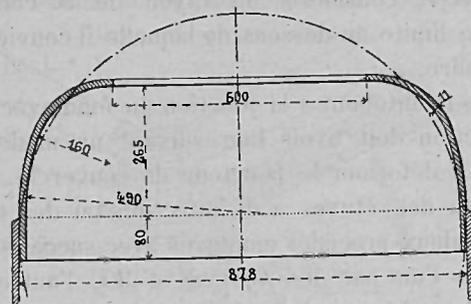


FIG. 25.

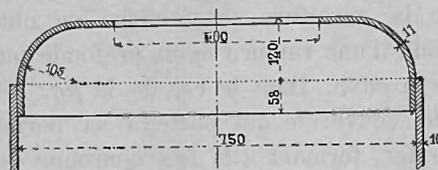


FIG. 26.

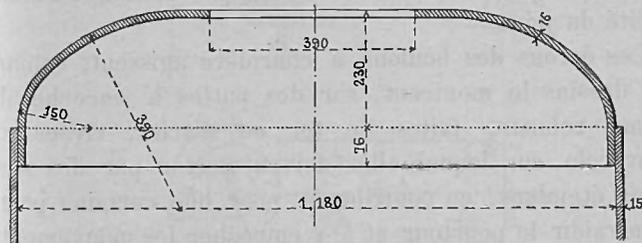


FIG. 27.

tion ou les appareils analogues (timbre de 10 kilogrammes dans le cas de la *fig. 26*); mais on a tout à gagner à employer des formes aussi stables que possible.

La valeur des courbures de raccordement admissibles sans imprudence dépend naturellement, d'ailleurs, du dia-

mètre et des dispositions générales du fond ; mais, en tout état de cause, on doit se rappeler que l'instruction ministérielle belge, pour l'exécution de l'arrêté royal du 28 mai 1884, considère un rayon de 5 centimètres comme une limite au-dessous de laquelle il convient de ne pas descendre.

Arrivons maintenant à la jonction du fond avec la cuve. Cette jonction doit avoir lieu suivant un mode qui ne tende pas à déformer le pourtour du couvercle. Dans la construction des étuves à désinfection ou des appareils analogues, deux procédés employés avec succès sont ceux représentés l'un par les *fig. 28* et *30*, l'autre par la *fig. 29*. Dans le premier cas le couvercle n'a aucune armature périphérique ; son bord vient s'appuyer par sa tranche sur la garniture, caoutchouc ou chanvre, qui occupe le fond d'une rainure assez profonde ménagée au pourtour de la cuve. Dans le cas de la *fig. 29* c'est, au contraire, le couvercle qui porte à sa périphérie une armature de fer, formant à la fois couronne de raidissement et logement pour la garniture, et c'est la cuve qui se termine par une tranche vive propre à assurer l'étanchéité du joint.

Les écrous des boulons à charnière agissent, comme les dessins le montrent, sur des pattes à encoche de forme robuste, faites de fer ou d'acier, rivées au couvercle, sur lequel elles doivent porter par des surfaces étendues, en contribuant, pour une certaine part, à en raidir le pourtour et à y empêcher les mouvements de soufflet.

Il importe naturellement que l'action des boulons ne comporte qu'un porte-à-faux aussi réduit que possible par rapport à la circonférence du joint. Dans le cas de la *fig. 28* ce porte-à-faux est de 41 millimètres comptés de l'axe du boulon au milieu de l'épaisseur de la tôle, et 10 millimètres seulement du bord de la surface d'appui

de l'écrou à l'arête extérieure du couvercle. Dans la fermeture représentée *fig. 30*, ces cotes sont réduites à 33<sup>mm</sup>,5 d'axe à milieu et 2<sup>mm</sup>,5 de bord à arête.

Plus le couvercle et ses pattes à encoche offriront

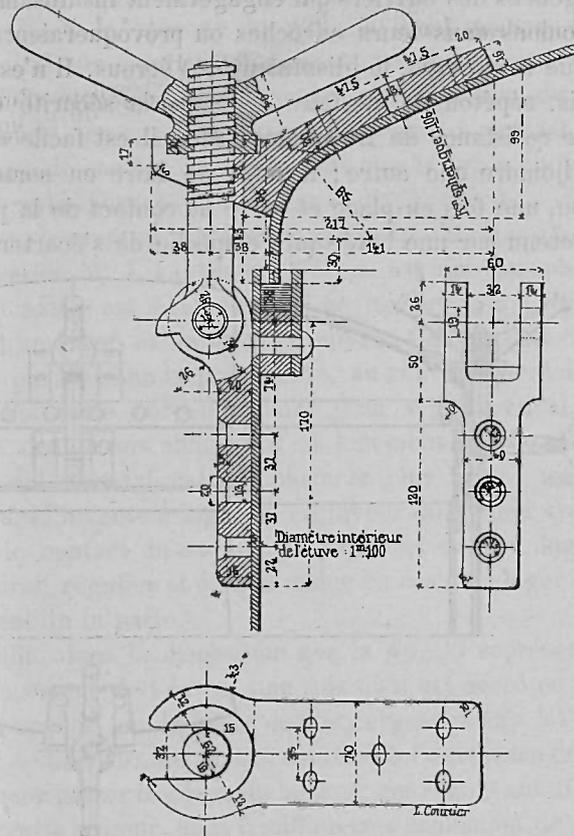


FIG. 28. — Fermeture d'étuve à désinfection (MM. Herscher et C<sup>ie</sup>).

de rigidité, moins on aura à craindre que les boulons viennent à lâcher prise par glissement de leurs écrous. Cependant il est indispensable de rendre ce glissement impossible par un dispositif spécial, car il faut compter

soit avec l'usure de la surface supérieure des pattes et l'usure réciproque des écrous, soit avec un fléchissement des pattes, soit avec un bombement accidentel du couvercle résultant d'une surpression, soit enfin avec les négligences des ouvriers qui engageraient insuffisamment les boulons dans leurs encoches ou provoqueraient, par quelque manœuvre, le glissement des écrous. Il n'est pas permis, répétons-le, de faire dépendre la sécurité d'une simple résistance de frottement. Mais il est facile de lui en adjoindre une autre; il suffit de faire en sorte que l'écrou, une fois en place et serré au contact de la patte, soit retenu par une butée qui l'empêche de s'écarter vers

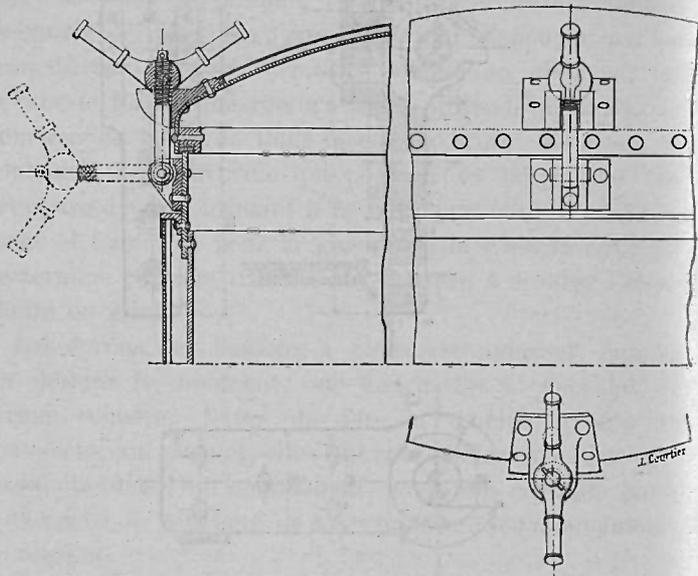


FIG. 29. — Fermeture d'étuve à désinfection (M. J. Le Blanc).

l'extérieur. Les *fig. 28 à 30* indiquent les dispositions qui ont été adoptées, à cet effet, par trois constructeurs de Paris.

Dans le cas de la *fig. 28* (étuve à désinfection de

MM. Herscher et C<sup>ie</sup>), quand l'écrou est en place, appliqué contre la face supérieure de la patte, il se trouve entouré, à sa base, d'une saillie en forme de fer à cheval de 10 millimètres de hauteur et 12 millimètres de largeur; l'ouverture du fer à cheval, égale à 32 millimètres, est suffisante pour le passage du corps du boulon, mais non de l'écrou. Pour que le renversement puisse se faire, il faut que l'écrou soit préalablement relevé, au-dessus de sa position de serrage, d'une quantité égale à ces 10 millimètres de saillie, au moins tant que le fer à cheval n'a point subi d'usure.

Dans le système représenté par la *fig. 29* (étuve à désinfection de M. J. Le Blanc), l'écrou est à noyau sphérique et la patte est évidée d'une cavité de même forme où vient se loger et se fixer ce noyau. Cette solution n'oppose pas, comme la précédente, au renversement du boulon, l'obstacle perpendiculaire d'un seuil vertical, mais celui des parois obliques d'un logement courbe. En soi, le seuil vertical est un obstacle plus franc; mais par ailleurs l'inventeur signale, en faveur du second système, que le contact du noyau sphérique et de son logement resterait régulier et étendu même en cas d'un léger déversement de la patte.

Enfin, dans la disposition que la *fig. 30* représente, le déplacement de l'écrou, une fois qu'il est serré en place, est empêché par la butée de deux ergots placés à l'extrémité de la patte, de part et d'autre de l'ouverture destinée à laisser passer le corps du boulon; ces ergots ont 10 millimètres de largeur, mais 5 millimètres seulement de saillie. On a donc à compter un peu plus tôt avec l'usure du dispositif de sécurité que dans le cas de la *fig. 28*.

Les exemples qui précèdent suffisent pour donner une idée des moyens qui peuvent être employés. Ces moyens sont simples. Ils empêchent les ouvriers négligents de n'engager les écrous dans leurs encoches que partielle-

ment ; quand l'écrou est serré, à moins d'une faute grossière, il est nécessairement à sa place et ne peut plus en sortir. Assurément, les boulons à charnière complétés

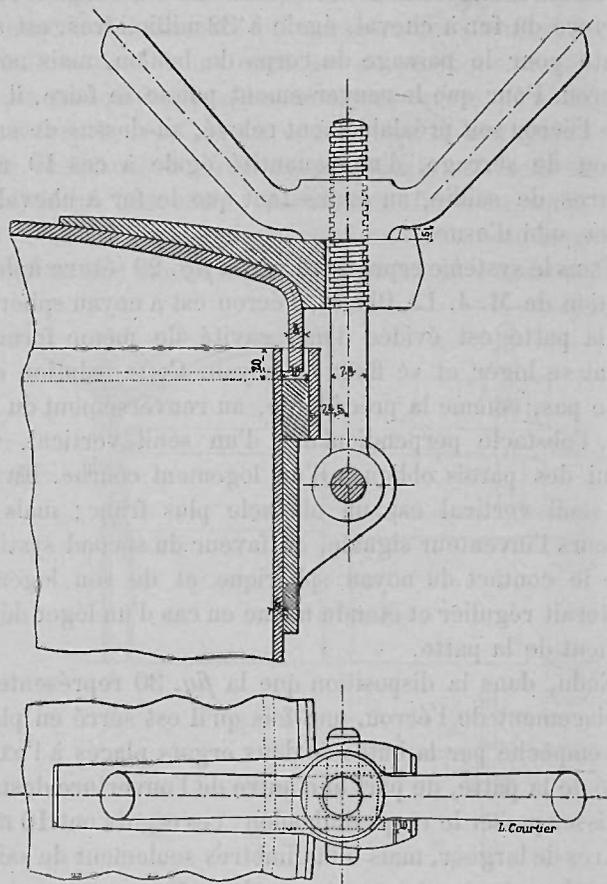


FIG. 30. — Fermeture de marmite de Papin pour conserves alimentaires (M. F. Dehaitre).

par un dispositif de ce genre ne procurent pas encore complètement les mêmes sécurités que des boulons ordinaires passés dans les trous de deux brides en regard,

en ce sens qu'ils n'encastrent pas le couvercle et que, si le couvercle se brise, ils n'en retiennent pas les fragments ; mais du moins donnent-ils contre le danger d'échappement des obturateurs des garanties si évidentes en même temps que si faciles, qu'aucune fermeture par boulons à charnière ne doit plus aujourd'hui être employée sans l'un de ces dispositifs ou tout autre équivalent.

Nous avons dit que, comme quatrième condition, les attaches ne devaient pas pouvoir elles-mêmes se briser. Il faut donc toujours les faire de forme simple, et les boulons doivent être d'une grande résistance. Ce qui risque le plus de les fatiguer, c'est l'exagération des serrages. A cet égard, il y a pour un boulon un minimum absolu de section qui dépend de l'effort que l'ouvrier peut exercer sur lui, en raison de la longueur du bras de levier sur lequel il agit et du pas de la vis ; le timbre du récipient, le nombre et l'espacement des attaches n'interviennent que pour déterminer la résistance additionnelle à donner au boulon en sus de ce minimum. Il ne faut pas que l'ouvrier puisse casser ou fissurer le boulon en serrant l'écrou.

Les ouvriers, quoi qu'on puisse et doive leur dire, ont une tendance naturelle et opiniâtre à augmenter le plus possible le bras de levier de leur action, afin de serrer davantage. Si les écrous sont à six pans, ils prennent de longues clefs ou des clefs rallongées ; les écrous à oreilles sont donc à préférer. Mais, si les deux oreilles de chaque écrou sont, des tiges rectilignes formant entre elles un angle trop ouvert, l'ouvrier est tenté de les coiffer de bouts de tubes en guise de rallonges. Si elles forment un angle trop aigu ou se redressent à leurs extrémités parallèlement à l'axe, il passe entre elles une barre transversale et dispose ainsi facilement d'un levier aussi long qu'il veut. L'inclinaison de ces oreilles, dans les figures ci-dessus et en particulier dans la *fig. 30*, a été, au dire du

constructeur, combinée en vue de se tenir le plus possible à l'abri de ces deux dangers.

Outre la modération indispensable des serrages, qui ne doivent d'ailleurs jamais être modifiés sur les appareils en pression, une précaution importante à enseigner aux ouvriers est d'opérer le serrage des différentes attaches d'un couvercle suivant un ordre méthodique ; il convient de serrer successivement, non les boulons voisins de proche en proche, mais des groupes de boulons symétriquement disposés, de manière à mettre le joint en serrage progressif sur toute la circonférence à la fois et à maintenir le couvercle toujours d'aplomb.

## BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ALLEMAGNE  
ET DU LUXEMBOURG EN 1895 ET EN 1896.

	1895			1896 (*)			
	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen	
<i>Substances minérales.</i>							
	ton. métr.	francs	fr. c.	ton. métr.	francs	fr. c.	
Combustibles minéraux. { Houille..	79.169.276	602.841.027	8,37	85.639.861	729.457.490	8,52	
Lignite..	24.788.303	71.353.878	2,88	26.797.880	74.947.702	2,80	
Minerai asphaltique.....	59.563	558.942	9,38	61.552	557.075	9,06	
Pétrole.....	17.051	1.183.810	69,65	20.395	1.461.869	71,68	
Graphite.....	3.751	249.011	65,53	5.248	354.771	67,60	
Minerai de fer.....	8.436.523	41.086.164	4,87	9.403.574	51.557.391	5,48	
— de zinc.....	706.423	13.010.026	18,30	729.872	20.936.927	28,68	
— de cuivre.....	633.354	18.917.210	29,87	717.306	20.857.664	29,07	
— de plomb.....	161.614	15.915.718	98,49	154.660	15.218.615	98,40	
— d'étain.....	154	74.767	485,50	88	28.933	328,78	
— de mercure et d'antimoine.....	24	1.074	44,75	»	»	»	
— de cobalt, nickel et bismuth.....	5.180	804.175	166,80	4.087	638.064	156,12	
— d'urane et de wolfram.....	29	21.889	754,79	41	34.841	849,78	
— de manganèse.....	41.327	612.707	14,83	45.062	591.160	13,12	
— d'arsenic.....	3.546	173.731	48,99	3.691	231.043	62,60	
— d'or et d'argent.....	10.845	2.101.072	194,57	18.487	2.935.292	158,77	
Pyrite de fer.....	127.036	1.499.881	9,37	124.950	1.139.371	9,12	
S.....	1.212.336	21.354.378	17,61	1.303.319	21.731.259	16,67	
Minerai de fer (Luxembourg).....	3.913.077	9.437.000	2,41	4.758.741	11.662.888	2,45	
<i>Métaux.</i>							
Fonte.....	4.722.734	256.988.263	54,41	5.486.374	322.947.069	58,86	
Fer et acier puddlés.....	1.020.951	142.014.360	139,09	1.132.525	175.493.741	154,96	
Fer et acier fondus.....	3.943.938	505.056.339	128,06	4.796.226	648.738.347	135,26	
Zinc.....	150.286	51.213.066	340,74	153.100	57.942.866	378,46	
Cuivre.....	25.777	28.629.004	1.109,65	29.319	35.883.404	1.223,89	
Plomb.....	111.058	27.401.819	246,64	113.792	30.789.836	270,58	
Litharge.....	3.433	938.764	273,45	3.930	1.159.634	295,07	
Étain.....	884	1.310.155	1.482,08	459	667.813	1.454,93	
Antimoine et manganèse.....	989	531.166	537,07	1.326	768.066	579,23	
Nickel, cobalt et bismuth.....	1.143	5.466.485	4.870,07	1.391	6.717.426	4.829,20	
Cadmium.....	7	48.262	6.894,57	10	94.057	9.405,70	
Arsenic.....	3.014	1.020.487	339,58	2.637	1.089.273	413,07	
Or.....	kilogr.	3.547	12.149.346	3.425,25	2.487	8.506.375	3.420,33
Argent.....	391.979	42.316.074	107,95	428.429	47.812.560	111,60	
Fonte (Luxembourg).....	tonnes	694.814	31.656.795	45,56	808.898	40.792.217	50,43

(Extrait de la Statistik des Deutschen Reichs, Jahrgang 1897.)

(\*) Renseignements provisoires.

## STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BAVIÈRE EN 1896.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEUR	NOMBRE d'ouvriers
<i>1° Mines et Salines.</i>			
	tonnes	francs	
Houille.....	900.080	10.645.345	5.427
Lignite.....	35.934	167.907	264
Minéral de fer.....	161.279	821.309	719
de manganèse.....	70	165	2
Pyrites.....	1.997	74.651	45
Graphite.....	3.751	253.060	—
Sel gemme.....	708	22.859	106
Sel extrait par dissolution.....	40.400	2.191.897	240
<i>2° Usines.</i>			
Fonte brute.....	79.621	4.536.532	451
Fer en barres.....	53.573	7.936.689	2.320
Acier.....	101.954	12.489.069	452

(Extrait de l'Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.)

## NOTE

SUR

## LES SOURCES MINÉRALES DE POUQUES

(NIÈVRE)

Par M. G. FRIEDEL, Ingénieur des Mines,  
Professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne.

La bordure jurassique du bassin Parisien, très régulière sur presque toute sa longueur, se montre en un seul point disloquée par de grands accidents tectoniques; c'est dans cette anse du Nivernais que bordent, à l'est, le môle du Morvan, au sud, les formations permio-carbonifères et primitives du Bourbonnais, et au fond de laquelle débouchent la Loire et l'Allier. Les vallées de ces deux rivières, qui traversent, du sud au nord, plus des deux tiers du grand massif central, sont dues, ainsi que l'a montré M. Michel Lévy, à de larges plis synclinaux tertiaires, accentués à une époque récente par des effondrements linéaires nord-sud.

Ce sont ces effondrements qui, se prolongeant au nord jusqu'à travers les terrains secondaires du Nivernais, isolent le Morvan en un môle comparable aux Vosges ou à la Forêt Noire, et laissent apparaître par endroits, au milieu des formations secondaires, des îlots anciens (Decize, Saint-Saulge).

Ces grandes fractures nord-sud, dont les rejets sont souvent de plusieurs centaines de mètres et dont la continuité est telle que certaines peuvent être suivies sur 50 kilomètres de longueur et plus, sont en relation évi-

dente, dans le plateau central, avec les sources gazeuses qui abondent dans la Limagne et dans le Forez. Partout l'acide carbonique, dernière manifestation des éruptions volcaniques d'Auvergne, se montre dans leur voisinage immédiat. C'est aussi en intime corrélation avec le prolongement de ces mêmes accidents dans le Jurassique du Nivernais que se trouvent les sources de Pougues, sources gazeuses et alcalines également, tout à fait analogues à celles de Vichy, par exemple, mais modifiées par leur circulation à travers les sédiments secondaires. Elles constituent un dernier témoin avancé, vers le nord, des phénomènes volcaniques et hydrothermaux du massif central.

Des sondages, exécutés depuis quelques années dans le bassin de Pougues, ont causé des perturbations importantes dans le régime ancien des eaux. Si l'on doit regretter que des travaux inconsidérés, que la législation actuelle est pratiquement impuissante à prévenir, aient eu des effets nuisibles sur l'ensemble du bassin hydro-minéral, ces travaux n'en ont pas moins eu un résultat heureux : par les données nouvelles qu'ils ont fournies, par les perturbations mêmes qu'ils ont causées, ils ont permis de suivre l'allure souterraine des eaux avec une précision relativement grande et assez rarement atteinte dans d'autres bassins. C'est à ce titre qu'il a paru utile d'exposer les observations faites et les conclusions qu'on en a tirées.

*Géologie.* — Les sources de Pougues jaillissent dans une petite plaine située à 20 ou 30 mètres au-dessus du niveau de la Loire, à quelques kilomètres au nord de Nevers. Cette plaine (altitude moyenne : 190 mètres environ) est fermée de trois côtés par un amphithéâtre de collines : à l'est une ligne de hauteurs presque exactement droite et dirigée nord-15°-est environ (Mont Givre,

298 mètres ; collines de Mimont, 355 mètres) ; à l'ouest une autre ligne moins prolongée et moins haute (240 mètres, colline de Soulangy) interrompue, au sud, par la Loire et en son milieu par le ravin de Sesseigne, par où toutes les eaux de la plaine s'en vont à la Loire ; au nord, enfin, une série de mamelons de 250 à 300 mètres de hauteur qu'interrompent seuls, à l'ouest, l'étroit défilé où passe le chemin de fer de Paris à Nevers et, à l'est, la petite vallée d'Usseau à Eugnes, séparant la colline des Coques de celle de Mimont. Au sud, la plaine s'ouvre largement sur la Loire, vers Fourchambault. Le sous-sol est constitué par des terrains jurassiques, recouverts en partie dans la plaine par une épaisseur variable de sables de rivière récents. Dans la plaine les affleurements sont rares ; néanmoins, l'étude des collines, jointe aux données des sondages, suffit à déterminer avec assez d'exactitude la disposition des terrains (*fig.* 1 et 2, Pl. VII. Voir aussi la carte géologique au  $\frac{1}{80.000}$ , feuille de Nevers).

L'arête de l'est, bien que très rectiligne, présente de grandes variations d'altitude. Du sud au nord, elle s'élève lentement de Garchizy au Mont Givre, puis s'abaisse brusquement sur le flanc nord de cette hauteur, est remplacée sur plus de 2 kilomètres, de Pougues à Satinges, par une suite de mamelons arrondis peu élevés, et reprend de nouveau brusquement, dans la colline de Mimont, une altitude de plus de 350 mètres. Ces deux collines, de Mimont et du Mont Givre, sont couronnées par une puissante masse de calcaire jaunâtre à rognons siliceux qui n'existe pas dans la zone intermédiaire. On y trouve les *Ammonites anceps* et *coronatus*. Ce calcaire est donc callovien supérieur. Au dessous s'étend un horizon de marnes blanches de 8 à 10 mètres d'épaisseur à *Am. macrocephalus*, constituant le callovien inférieur ; le sommet de ces marnes est le principal niveau des sources d'eau douce

de la région. Sous les marnes on voit paraître, sur le flanc nord du Mont Givre, un banc de calcaire à entroques de 4 mètres environ de puissance, formant aux affleurements une corniche que l'on peut suivre vers l'ouest jusqu'à la route Nationale, à la sortie de Pougues vers Nevers. Exploité autrefois comme marbre à Mimont et aux Coques, ce calcaire forme dans la région un horizon très constant et facilement reconnaissable. C'est, si l'on veut, la dalle nacrée, contenant encore l'*Am. macrocephalus*, extrême sommet du bathonien ou base du callovien.

Ce calcaire à entroques repose sur une épaisseur assez variable, 20 à 30 mètres environ, de marnes blanches, dont les niveaux supérieurs sont riches en *Eudesia cardium*, *Zeilleria digona*, etc., et qui constituent le bathonien supérieur; à leur base apparaît un calcaire grossier, sans fossiles, non oolithique, exploité autrefois comme pierre à chaux au Tremblay, dont l'épaisseur ne dépasse guère 4 à 5 mètres, et qui représente probablement le bathonien moyen (grande oolithe d'Ebray). C'est encore un horizon très constant et aisé à retrouver. L'étude des accidents est grandement facilitée par le grand nombre d'affleurements visibles de ces deux bancs calcaires.

A partir de là, en continuant à descendre dans la série des terrains, on pénètre dans la zone qui intéresse directement la région des eaux minérales. Le bathonien inférieur et le bajocien supérieur forment une masse assez puissante, dont l'épaisseur ne peut être évaluée à moins de 80 mètres, de marnes bleuâtres ou grises entremêlées de petits bancs de calcaire marneux où abondent, dans la partie supérieure, des ammonites du bathonien inférieur (*Amm. procerus*, *Am. zig-zag*, etc...) et, sur les 15 mètres inférieurs, l'*Am. Parkinsoni*. Ces marnes affleurent notamment dans la tranchée du chemin de fer au sud de la gare de Pougues; on les retrouve presque

partout dans la plaine, sous les sables. En toutes circonstances elles se comportent comme un terrain parfaitement imperméable, et sont en même temps assez fermes et assez difficiles à délayer pour que les trous de sonde s'y conservent très longtemps intacts sans tubage.

Ces marnes se terminent à la base par un banc marneux rougeâtre à oolithes ferrugineuses qui, dans les sondages, annonce l'approche du calcaire à entroques bajocien. Ce calcaire, généralement grossier, caverneux, peu spathique, et qui doit ici sa désignation habituelle plutôt à son niveau géologique qu'à l'abondance des débris d'encrines, beaucoup moins nombreux que dans le calcaire du bathonien supérieur, forme la base du bajocien. Son épaisseur ne dépasse pas 5 à 6 mètres. On l'exploite à Fourchambault, où plusieurs carrières, voisines de la grande faille de Pougues, le montrent traversé de nombreuses cassures nord-sud et est-ouest, parallèles et perpendiculaires à cette faille. C'est le calcaire à entroques bajocien qui joue le plus grand rôle dans la circulation et la minéralisation des eaux de Pougues.

Enfin sous le calcaire commencent les marnes argileuses bleues du lias supérieur, imperméables comme celles qui surmontent le calcaire, mais plus tendres et contenant aussi, par endroits, quelques plaquettes calcaires perméables. Plusieurs sondages ont pénétré dans ces marnes; le plus profond (sondage Bert) les a traversées sur 80 mètres environ sans en atteindre la base. Elles n'affleurent nulle part dans la plaine ni dans les collines qui l'entourent. Les bélemnites y abondent assez pour que les sondages en ramènent de nombreux débris dès qu'ils les rencontrent.

Voici maintenant comment sont disposés ces divers étages: au Mont Givre le pendage des couches est faible et uniformément dirigé vers le sud-ouest. Le calcaire callovien qui couronne cette hauteur est coupé brusque-

ment au nord et ne reparait qu'à Mimont. Entre deux on n'en voit que des lambeaux isolés, généralement remaniés, partiellement dissous par les eaux superficielles et réduits à l'état de terre à silex. A Mimont, les couches sont presque horizontales, avec un léger pendage nord.

Dans la plaine deux régions sont à distinguer, séparées par une ligne est-ouest qui va du flanc nord du Mont Givre à la coupure de Sesseigne, en suivant une dépression qui passe au nord du parc de l'établissement thermal de Pougues et se poursuit par le thalweg du ruisseau de Germigny. Au sud de cette ligne est la région des sources minérales. Le village de Pougues, autour duquel jaillissent ces sources, en occupe l'angle nord-est. Ici le pendage, relativement accentué, est, vers le nord-est, exactement opposé à celui du Mont Givre. Mais, si l'on va vers la Loire du côté de Soulangy, le pendage diminue, puis s'annule et enfin passe au nord-ouest. Ce lambeau de terrain forme aussi une sorte de voûte très surbaissée dont la disposition s'accorde bien, comme on le verra, avec le sens du rejet des deux failles qui le limitent à l'est et à l'ouest. Au sud, vers Fourchambault, les strates de ce lambeau deviennent tout à fait horizontales, si ce n'est au voisinage immédiat des failles.

Dans la seconde partie de la plaine, au contraire, au nord de la ligne séparative indiquée ci-dessus, les couches plongent uniformément et faiblement au nord-ouest, ainsi que dans les collines qui bordent la plaine au nord et à l'ouest.

*Failles.* — Des failles séparent ces diverses régions. La plus intéressante, au point de vue qui nous occupe, est la grande faille de Pougues (faille de Sainte-Colombe d'Ebray). Elle est visible, à quelques mètres près, sur la route de Pougues à Fourchambault, à mi-chemin entre Pougues et Garchizy ; on voit affleurer en ce point, sur le

côté est de la route, les marnes à *Am. macrocephalus* du callovien inférieur et, sur le côté ouest, les marnes bajociennes à *Am. Parkinsoni*. Il y a donc là une faille importante, dont le rejet peut être évalué à 90 ou 100 mètres. De Fourchambault à Pougues la faille se suit assez aisément ; sa direction est nord-15°-est environ, c'est exactement celle du bord rectiligne des collines dont elle suit le pied. Mais, comme le pendage est nord-est sur la lèvre ouest et sud-ouest sur la lèvre est de l'accident, l'amplitude du rejet ne cesse de s'atténuer vers Pougues. Aux premières maisons de Pougues, sur la route de Nevers, apparaît à l'est de la faille le calcaire à entroques du bathonien supérieur, puis les marnes blanches bathoniennes, et, à la hauteur de Bourgneuf, aucune dénivellation ne peut plus être mise en évidence. On sait que, d'après les forages, le calcaire bajocien s'enfonce en ce point, sur la lèvre ouest de la faille, à plus de 60 mètres du sol. De l'autre côté, sur la route de Parigny, le calcaire bathonien moyen se montre à quelque 20 mètres au-dessus de Pougues. S'il y a une dénivellation, elle n'est donc pas appréciable aux affleurements.

Mais une recherche exécutée en 1891 sur des dégagements gazeux à Usseau, sur le prolongement exact de la même faille, en a fait reconnaître l'existence au pied de la colline de Mimont, avec un rejet de même sens qu'au sud de Pougues. D'ailleurs le bord si nettement rectiligne des collines, l'arête vive de Mimont à Eugues qui fait suite exactement à celle du Mont Givre, montrent avec évidence que la fracture se prolonge en ligne droite jusqu'à Eugues. Le rejet est à peu près nul à Pougues, mais l'existence de la faille n'est pas douteuse.

D'après la direction bien rectiligne jalonnée par les points connus de la faille, elle doit passer à peu près à 380 mètres à l'est de la source Saint-Léger, au voisinage immédiat du sondage de Bourgneuf. Au sud, elle va

passer à Fourchambault entre les sources Mimot et Montupet.

Son rejet, qui partout abaisse la lèvre orientale, atteint 90 à 100 mètres vers Clairefontaine, puis diminue au nord et s'annule à peu près vers Pougues. Mais, plus loin, la lèvre ouest se trouve relevée par des failles transversales, et le rejet reprend dans le même sens. La direction est celle des principales cassures de la région; les fractures locales observables dans les bancs durs de la formation lui sont toujours à peu près parallèles ou perpendiculaires. Enfin l'importance de l'accident, en ce qui concerne la venue des eaux minérales, est mise en évidence par l'alignement des dégagements de gaz carbonique et d'eau minérale sur toute sa longueur: les dégagements gazeux d'Usseau, les sources de Pougues qui se trouvent dans son voisinage et dont la composition, comme on le verra, est fonction de la distance à la faille, les sources de Fourchambault et les nombreux dégagements de gaz carbonique observés dans les puits de ce bourg. Depuis longtemps on a attribué à la faille de Pougues un rôle dans la venue des eaux minérales. On cherchera plus loin à préciser ce rôle important.

Une autre faille limite à l'ouest la plaine de Pougues, c'est la faille de Soulangy, que l'on peut suivre au pied oriental de la colline de Soulangy. On la voit atteindre la Loire un peu à l'est du point où la route de Fourchambault à la Charité commence à suivre le fleuve. D'après la position du calcaire à entroques bajocien dans le lit de la Loire sur la lèvre est et celle du bathonien supérieur à Soulangy sur la lèvre ouest, on peut évaluer le rejet, qui est vers l'ouest, à 40 ou 50 mètres.

De là, l'accident se dirige vers le nord-10°-est, à peu près parallèlement à la faille de Pougues, passe entre le hameau des Gigots et la ferme des Barats, où son rejet conserve à peu près la même amplitude, et se perd sous

les alluvions de la plaine; mais on en retrouve le prolongement probable dans une faille de même direction visible au pied de la colline de Chazelles, à 1 kilomètre environ du point où le chemin de Tronsanges quitte la route nationale (le rejet est de 35 mètres environ, vers l'ouest toujours).

Le voussoir de Pougues, ainsi limité par deux failles Nord 10 à 15° Est qui abaissent les terrains de part et d'autre, est géologiquement en saillie par rapport aux collines de Mimont-Mont Givre et de Soulangy. Au sud, aucune discontinuité ne paraît séparer les couches de Pougues de celles que l'on retrouve, de plus en plus horizontales, jusqu'à Fourchambault. Au nord, la limite entre les deux parties de la plaine distinguées ci-dessus est marquée encore par une faille: en suivant le calcaire à entroques bathonien supérieur dans la colline qui s'étend entre Tronsanges et Germigny, on le voit affleurer régulièrement à mi-côte, plongeant doucement au nord-ouest. En arrivant à l'étroit vallon du ruisseau de Germigny, les affleurements disparaissent et ne se retrouvent qu'au niveau du ruisseau. La chute est de 40 mètres environ. Cette nouvelle faille (faille de Germigny) s'étend dans la direction est-ouest. Elle a manifestement déterminé le creusement de la gorge où on l'observe. Son prolongement irait passer au nord de Pougues et déterminer l'arête rectiligne du Mont Givre au nord, bien qu'au nord du Mont Givre aucune faille de cette direction ne soit visible. Il paraît en être de cette faille comme de celle de Pougues, dont le rejet devient insensible par endroits, sans que pour cela on puisse se refuser à admettre le prolongement de la cassure. La faille de Germigny, dont le prolongement sous la plaine ne paraît pas douteux, mais que l'on ne peut suivre faute d'affleurements, irait, si on la suppose prolongée en ligne droite, passer non loin du lieu dit *l'Abîme*, où des dégagements de gaz observés

autrefois ont occasionné un sondage. Elle passerait entre le parc de l'établissement thermal et la ferme de Bramepain.

Enfin une dernière faille parallèle à la précédente, avec rejet de même sens, passe au nord du Tremblay et aboutit à la faille de Pougues vers Usseau (les Margats), bordant ainsi la plaine au nord. A Usseau, sur le côté ouest de la faille, le calcaire bajocien est relevé de 80 mètres environ par rapport à sa position à Pougues. C'est une limite inférieure de la somme des rejets des deux failles précédentes, car les couches plongent, très faiblement il est vrai, vers le nord.

Revenons à la subdivision sud de la plaine, dont la région des sources occupe l'angle nord-est. On n'y voit affleurer partout que les marno-calcaires du bajocien et du bathonien inférieur ou les sables de rivière qui en ont comblé les dépressions. Au dessous, le calcaire à entroques bajocien forme un horizon constant dont l'étude est le point capital de notre recherche, car c'est dans les fissures de ce calcaire que l'eau minérale trouve son principal chemin.

Les résultats des sondages montrent qu'il se relève vers le sud-ouest, de 63 mètres à la source Saint-Léon jusqu'à 21 mètres à la source Alice, la plus grande pente étant dirigée à peu près suivant la ligne joignant le sondage Guérault à la source Saint-Léon. La pente moyenne est de 40 millimètres par mètre environ. Si cette pente se continue, on doit trouver les affleurements du calcaire : vers l'ouest à 100 mètres environ du sondage de l'Abîme, vers le sud à 1.200 ou 1.300 mètres au sud de la gare de chemin de fer. Or le sondage de l'Abîme (exécuté en 1891 par la Compagnie des Eaux, sans résultat) a montré qu'en ce point, comme cela doit être d'après ce qui précède, le calcaire à entroques n'existe pas ; les sables granitiques récents ont là une épaisseur exceptionnelle : 10 mètres ; ils contiennent

quantité de fragments de bélemnites et recouvrent directement les marnes à bélemnites du lias. Les affleurements du calcaire sous les sables sont donc à l'est de l'Abîme, et aucune faille ne paraît modifier, de ce côté, l'allure normale des couches. Quant à la direction sud, si l'on ne voit pas affleurer le calcaire à 1.200 mètres au sud de la gare, on voit apparaître en ce point, dans la petite colline du moulin à vent, les couches riches en *Am. Parkinsoni* qui le surmontent immédiatement. Le calcaire apparaît plus loin vers Fourchambault. Le pendage va donc simplement en s'atténuant vers le sud, sans accident. Ainsi, il semble impossible de reconnaître, dans la région des sources, d'autres véritables failles que celles qui la limitent.

*Fractures sans rejet.* — Mais on peut constater, en relation évidente avec la venue des eaux, un autre genre de fractures. Ce sont des fractures sans dénivellation, remplies tantôt d'argile, tantôt de sables granitiques à débris roulés de quartz et de feldspaths. Celles dont on a pu constater la direction sont parallèles aux grandes failles limites Nord 10° à 15° Est.

Il y a à Pougues deux sources naturelles, venant au jour sans sondages ni travaux profonds : la source Saint-Léger et celle dite Ancienne Source (aujourd'hui tarie à la suite de sondages très voisins). Chacune d'elles paraît en relation étroite avec une semblable fracture. Celle de l'Ancienne Source, sur laquelle on n'a que des renseignements incertains, aurait une largeur de 0<sup>m</sup>,50 environ, et serait remplie au voisinage du sol d'une argile sableuse grise provenant évidemment de la lévigation des marnes encaissantes et du sable superficiel. Sa direction est nord-10°-est. Elle passerait exactement à l'Ancienne Source, et la source Élisabeth serait tout près, sur son bord est.

A Saint-Léger, des travaux exécutés autrefois pour l'approfondissement du puits d'embouteillage avaient fait reconnaître l'existence d'une cassure plane, verticale, sans rejet, traversant toute la largeur du puits (4 mètres) et dirigée nord-2°-est, c'est-à-dire à peu de chose près parallèle à la précédente. Son épaisseur de 3 à 4 centimètres environ était remplie d'argile molle. Cette cassure, qui d'ailleurs ne donnait aucune venue d'eau ni de gaz, passe à l'est de la source Saint-Léger.

Dans l'intention de rechercher si une fracture du même genre et de même direction ne servirait pas de cheminée d'ascension à la source, la Compagnie des Eaux fit creuser, en 1891, une tranchée est-ouest à la limite nord du parc, de manière à recouper la fracture présumée. Ce travail a permis de reconnaître une cassure sans dénivellation, dirigée encore nord-sud à quelques degrés près, d'une vingtaine de centimètres de largeur, et dont le prolongement passerait, à très peu près, à la source Saint-Léger. Cette curieuse fracture est remplie, non d'argile imperméable, mais de sable quartzeux et feldspathique fin, imprégné d'oxyde de fer; sur les parois, la marne est rougie par l'oxyde de fer sur une épaisseur de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,50; sur une largeur plus grande encore on trouve disséminés au milieu de la marne de petits rognons concrétionnés de calcaire blanc attestant le passage ancien d'eaux minérales. Il paraît bien probable que c'est sur le prolongement de cette cassure, remplie de sables perméables, que jaillit la source Saint-Léger. On verra une confirmation de cette hypothèse dans ce que l'on connaît du mode de captage de la source.

Enfin un dernier groupe de faits montre le lien qui existe entre les venues d'eaux minérales de Pougues et ces cassures à remplissage argileux ou sableux: les sources Élisabeth et Alice, limpides quand leur débit est réduit, amènent, au jour, quand on les laisse couler libre-

ment, des matières argileuses que l'on pourrait, à première vue, croire arrachées aux marnes en place, bien que l'état des sondages, nullement dégradés malgré les grands débits fournis longtemps par ces sources, ainsi qu'on a pu le constater comme nous verrons plus loin, indique que ces marnes ne se délaient que très difficilement. Mais avec ces argiles, d'une odeur toute particulière, arrivent en abondance des grains de sable feldspathiques et quartzeux, souvent des cristaux roulés de quartz bipyramidé porphyrique. Ces sables, complètement étrangers au terrain jurassique, et beaucoup trop abondants pour provenir, comme on l'a cru d'abord, du mortier de ciment et sable employé pour les captages, ne peuvent que s'être introduits après coup dans des cavités du terrain en place, vraisemblablement dans des cassures semblables à celles dont il vient d'être question. Ils sont identiques à ceux de la cassure du parc de l'établissement. On a pu d'ailleurs, dans les expériences dont nous parlerons, préciser les niveaux où ces deux sondages rencontrent les sables et constater que c'est de ces niveaux que viennent les eaux minérales.

L'origine de ces sables, identiques à ceux qui recouvrent une partie de la plaine, identiques aussi à ceux que l'on extrait de la Loire pour la construction, ne paraît pas douteuse: ils proviennent de la surface. Comme on le verra, il y a en profondeur dans le bassin de Pougues un afflux considérable d'eaux douces superficielles venant se mélanger aux eaux minérales après un trajet plus ou moins long à travers les terrains. Si cela est, rien de plus naturel que de voir ces eaux, dans leur descente, entraîner le sable qu'elles traversent et le déposer dans leur trajet ascensionnel.

### Les sources.

*Historique.* — Avant 1889 il n'y avait à Pouques que deux sources naturelles et une captée par sondage :

1° *L'Ancienne Source*, peu importante, à peine captée, située au lieu dit le Ponteau, près de la gare de Pouques, dans le lit même du ruisseau (Voir le plan *fig. 3*). Les sondages voisins l'ont fait disparaître ; il est très probable que les travaux en cours d'exécution sur ces sondages la feront reparaitre, mais enfin elle n'existe plus depuis 1891, et les données manquent totalement sur son état ancien.

2° La source *Saint-Léger*, déclarée d'intérêt public par décret du 4 août 1860, qui reste de beaucoup la plus importante par les vertus médicales qu'on lui reconnaît et par l'embouteillage actif auquel elle donne lieu. Située dans le parc de l'établissement, cette source jaillissait autrefois au niveau du sol. D'une inscription plus ou moins authentique sur plaque de plomb trouvée dans le puits lors d'un épuisement à fond exécuté en 1891, il résulterait que, connue depuis de longs siècles, elle aurait été captée et aménagée pour la dernière fois en 1610. Quoi qu'il en soit, le captage est ancien et l'on n'en connaît que ce qui se voit à l'extérieur ou ce que les travaux, nécessités par l'abaissement du niveau d'émergence, ont fait découvrir.

L'eau s'élevait, jusqu'en 1891, dans un puits maçonné circulaire de 1 mètre de diamètre et de 2<sup>m</sup>,60 de profondeur. Le trop-plein était à 0<sup>m</sup>,40 au-dessous de la margelle. Ce puits était fermé au fond par une dalle de pierre de 11 centimètres d'épaisseur, percée en son centre d'un orifice par où s'élevait l'eau accompagnée

d'abondantes venues de gaz carbonique. Quand, le niveau venant à baisser en mars 1891, on dut enlever cette dalle, on trouva au-dessous d'elle un second puits de 0<sup>m</sup>,80 de diamètre sur 0<sup>m</sup>,84 de profondeur seulement, fermé encore par une dalle de 18 centimètres d'épaisseur percée d'un trou central. Ici l'orifice était couvert d'une sorte de cheminée en pierre surmontée d'un chapeau de même matière, avec des fenêtres latérales disposées de manière à empêcher la chute au fond du puits des objets tombant de la surface : ces objets, monnaies anciennes, fragments de verre, etc..., étaient accumulés en abondance autour de la cheminée. La seconde dalle enlevée enfin, venait un puits, qui subsiste encore, de 0<sup>m</sup>,54 de diamètre et de 3<sup>m</sup>,75 de profondeur. Les 55 centimètres supérieurs de ce puits ont été enlevés, en sorte que la margelle actuelle est à 4<sup>m</sup>,28 au-dessous de l'ancienne, et que l'ancien puits ne subsiste que sur une profondeur de 3<sup>m</sup>,20. Il débouche au fond d'un large puits ovale de 3 mètres de petit axe, 6<sup>m</sup>,25 de grand axe et 4<sup>m</sup>,90 de profondeur au fond duquel on accède par des escaliers et où est installée la pompe qui envoie l'eau à l'embouteillage. Les travaux ont fait reconnaître que sur une largeur inconnue, mais supérieure à celle du puits actuel, il n'existe que du terrain rapporté, de l'argile principalement, et point de terrain naturel.

Le captage a donc été effectué autrefois au fond d'une large excavation à ciel ouvert au milieu de laquelle on a élevé la maçonnerie de l'ancien puits, en tassant de la terre argileuse autour. Mais l'eau ne jaillit pas directement du fond du puits, qui est formé d'une dalle en pierre : elle y accède par une petite galerie voûtée de 22 centimètres de largeur sur 51 centimètres de hauteur sous clef, trop étroite par conséquent pour qu'on ait pu l'explorer autrement qu'en y passant le bras. Cette galerie, qui débouche sur le côté nord, va en descendant doucement

à partir du puits et en même temps en tournant vers l'ouest. On ne connaît rien au delà.

Du côté ouest, lorsque le puits a été épuisé à fond, on a constaté d'abondantes venues de gaz par un joint de la maçonnerie. De ces deux faits et de ce qui a été dit plus haut on peut conclure, semble-t-il, que la cassure nord-sud qui donne accès à l'eau minérale passe sur le côté ouest du puits. On peut se demander pourquoi le puits n'a pas été établi sur le griffon même ; la conjecture la plus vraisemblable est que l'emplacement du griffon n'offrait pas une résistance suffisante pour fonder sur une base étroite la masse importante de maçonnerie et d'eau de l'ancien puits, mal soutenu latéralement par l'argile rapportée. Et, comme le terrain de Pougues est composé partout de bancs continus et peu inclinés de marnes dures ou de calcaires, on ne voit qu'une cassure argileuse ou sableuse assez large, semblable à celles que l'on connaît au voisinage et que l'on sait d'ailleurs avoir des rapports étroits avec la venue des eaux, qui puisse occasionner un défaut local de résistance du terrain. La galerie doit donc couvrir le ou les griffons sur une cassure analogue sinon identique à celle reconnue à peu de distance ; on l'a détournée latéralement pour trouver sur les marnes dures en place une base solide capable de supporter tout le poids du puits, tout en lui donnant une pente montante pour faciliter le dégagement des gaz.

3° Deux sondages, exécutés vers 1867, dits sondages Bert n° 1 et n° 2, n'existent plus comme sources minérales. L'un d'eux, le sondage n° 1, a fourni jusqu'en 1890 une eau peu abondante dont on verra plus loin la composition. Il atteignait le calcaire à entroques à 40 mètres du sol. Approfondi en 1890 après les premiers forages Massé, il fut poussé dans le lias jusqu'à 122 mètres de profondeur sans résultat. Comme il s'en dégagait une quantité de gaz assez importante en pure perte, on le boucha peu

de temps après en damant des pains d'argile dans le fond, non sans difficulté à cause des cavités qui s'étaient produites dans les marnes tendres liasiques.

En 1889, deux sondages (sondages Massé) furent exécutés successivement à quelques mètres de l'Ancienne Source : le premier, dit source *Alice*, donna d'abord un débit insignifiant ; le second, source *Élisabeth*, placé immédiatement au nord de l'Ancienne Source, fournit un débit plus important, mais d'une eau peu minéralisée, comme on le verra. Les deux forages sont à 15 mètres de distance l'un de l'autre, le sondage *Alice* à l'est du sondage *Élisabeth*. Le premier atteignait le calcaire à 20<sup>m</sup>,70 de profondeur sans y pénétrer. Le second s'arrêtait dans les marnes à 17<sup>m</sup>,60.

En même temps, divers sondages, restés sans résultats, étaient entrepris au voisinage de la source Saint-Léger (sondage Trochereau, sondage Bigouret). Alarmée des dangers que ces travaux pouvaient faire courir à la source Saint-Léger, et croyant remarquer déjà une certaine chute de niveau à la suite des sondages Massé, la Compagnie des Eaux usa de la déclaration d'intérêt public pour faire arrêter les derniers sondages encore en cours d'exécution et demander un périmètre de protection. Le périmètre fut accordé, par décret du 18 juin 1890, mais fort restreint et ne s'étendant que peu au-delà du parc de l'établissement (24 hectares). Les sources Massé, distantes de Saint-Léger de 800 mètres environ, étaient jugées inoffensives, la distance étant trop grande. D'ailleurs les données anciennes manquaient pour apprécier exactement la réalité de la chute de niveau statique peu importante annoncée par la Compagnie. Les documents retrouvés depuis permettent de l'évaluer à quelque 10 centimètres et reportent à une époque antérieure à 1887, probablement à l'exécution des forages Bert, une baisse plus importante de 40 centimètres environ. De 1857 à 1889, il y avait eu

une baisse de près de 50 centimètres, peu inquiétante par conséquent, et dont la cause n'apparaissait pas nettement. La minéralisation ne semblait pas atteinte, mais seulement le bouillonnement de gaz diminué.

Cependant la fièvre de sondages reprenait de plus belle, jusque tout contre les limites du périmètre, et principalement du côté de la faille. Ces sondages, dont certains étaient exécutés dans l'intention évidente de couper la source Saint-Léger entre le puits et la faille, ne donnèrent que des filets d'eau peu importants et n'agirent pas d'une manière sensible sur la source d'intérêt public : ce sont les sondages dits Jeanne-d'Arc et Grande-Source, au nord-est de Saint-Léger, le premier ayant rencontré le calcaire à 61 mètres de profondeur, le second à 63<sup>m</sup>,50; puis le sondage Saint-Léon, un peu plus à l'est et contre la limite du périmètre, trouvant le calcaire également à 63<sup>m</sup>,50; ces trois derniers donnent passage à de petites sources (1 litre par minute environ). Le sondage de Bourgneuf, placé presque sur la faille, à l'extrémité est de l'ancien périmètre, a rencontré le calcaire à 60 mètres et n'a fourni que des dégagements de gaz carbonique; le sondage Guérault, placé, au contraire, au sud, à l'angle de la route nationale et de l'avenue de la gare, n'a donné également qu'un débit insignifiant qui n'a jamais été capté (calcaire à 39<sup>m</sup>,80). Il faut citer encore un sondage placé non loin des sources Massé, dans la propriété Bert, lequel a trouvé le calcaire à 19<sup>m</sup>,50 et a été poursuivi sur 48 mètres de profondeur sans fournir autre chose que de l'eau douce. Enfin le sondage dit de l'Abîme, placé à plus de 2 kilomètres de la faille, et qui, comme nous l'avons dit, n'a rencontré sur ses 20 mètres de profondeur que 10 mètres de sable de rivière et 10 mètres de marnes liasiques sans trouver le calcaire.

Au total, ces nombreux sondages avaient produit bien peu de résultats; seule la source Saint-Léon donnait 1 ou

2 litres par minute d'une eau utilisable et bien captée, quand, en mars 1891, l'eau de la source Élisabeth étant jugée trop pauvre en gaz et en sels dissous, le propriétaire des sources Élisabeth et Alice se décida à approfondir ce dernier sondage dont l'eau, trop peu abondante, était plus minéralisée, et qui s'arrêtait, on s'en souvient, à la surface du calcaire. Le sondage, poursuivi au diamètre de 8 centimètres à travers le calcaire à entroques, sur 5<sup>m</sup>,23 seulement, livra passage d'abord à deux venues d'eau assez abondantes à 23<sup>m</sup>,50 et 24 mètres environ de profondeur, puis à 26 mètres à un jaillissement extraordinaire d'eau minérale très riche en gaz carbonique. L'eau jaillit pendant quelque temps par le tube de 8 centimètres de diamètre du captage jusqu'à plus de 5 mètres au-dessus du sol; puis ce débit énorme, évalué à 1 1/2 ou 2 mètres cubes par minute, diminua graduellement pour se fixer à 200 ou 250 litres environ au bout de quelques mois.

Cette fois l'effet produit sur la source Saint-Léger fut indéniable, sans être immédiat cependant. Quatre jours après le jaillissement de la source Alice, le niveau commençait à baisser lentement; retardée par les chutes de pression atmosphérique et accélérée par les relèvements de pression, cette baisse se poursuivit, rapide d'abord, puis de plus en plus lente, pendant près d'une année. En octobre 1891, elle était évaluée à 2<sup>m</sup>,50 environ (niveau statique), et depuis lors jusqu'à l'établissement du régime actuel elle s'est accrue de 1 mètre. Au total, la chute du niveau statique depuis 1857, date des premiers relevés connus de niveaux et de débits, est de 4 mètres environ, dont 0<sup>m</sup>,50 avant mars 1891 et 3<sup>m</sup>,50 depuis lors. En même temps, ce qui est infiniment plus important, car l'abaissement du niveau de l'embouteillage n'est, en somme, qu'un inconvénient minime, la minéralisation diminuait à peu près d'un tiers.

A la suite de ces faits, une extension du périmètre de

protection fut demandée et obtenue par décret du 30 juin 1892 ; ce périmètre, d'une étendue de 746 hectares, est limité à peu près aux failles décrites ci-dessus, de façon que dans le lambeau continu de terrain où jaillissent les sources, aucune recherche nouvelle n'a été entreprise, et ne le sera à l'avenir sans qu'il ait été reconnu qu'elle est sans inconvénient.

*Régime des eaux minérales.* — Toutes les eaux minérales de Pouques jaillissent du calcaire à entroques bajocien, comme aussi d'ailleurs celles de Fourchambault. Celles qui arrivent au jour naturellement (Saint-Léger, Ancienne Source) traversent les marnes imperméables superposées au calcaire à la faveur de cassures remplies de sables granitiques plus ou moins argileux ; les autres, auxquelles un chemin artificiel a été frayé au moyen de sondages, proviennent du même niveau géologique (Alice, Bert, Jeanne-d'Arc, Grande-Source, Saint-Léon). Accessoirement, des venues de gaz peu abondantes ont été constatées au-dessous du calcaire, dans des plaquettes calcaires intercalées au sommet du lias (Saint-Léon, à 8 et 16 mètres au-dessous du calcaire environ), ou au-dessus (Bourgneuf, à 25 mètres du sol, soit à 35 mètres au-dessus du calcaire, probablement dans la faille de Pouques elle-même).

Enfin à la source Élisabeth le sondage, qui n'a pas atteint le calcaire, a rencontré dans les marnes un niveau sableux ou plus probablement une cassure remplie de sable qui le met en communication directe avec le calcaire.

Sur ce dernier point des expériences directes ont été effectuées en mars 1897. Un ballon de caoutchouc épais, protégé extérieurement par une forte enveloppe de toile, et muni d'un petit tube permettant d'y insuffler de l'air au moyen d'une pompe, a été descendu dans le forage au moyen d'un tube de fer qui le traversait de part en part

dans deux tubulures opposées, solidement fixées par deux ligatures. Le ballon, étant d'un diamètre un peu supérieur à celui du forage, l'obturait complètement aux points où les parois en étaient en bon état de conservation, et l'eau venant des niveaux inférieurs pouvait être recueillie par le tube central ou arrêtée complètement en fermant l'extrémité de ce tube (parfois remplacé d'ailleurs par une simple tige).

A la source Élisabeth ce dispositif permit de constater que jusqu'à quelques décimètres au-dessus du fond on ne rencontre que des marnes dures et non dégradées où l'obturation se fait exactement. Tout écoulement d'eau au-dessus du ballon cesse quand le ballon est gonflé. Seulement au fond, entre 17 mètres et 17<sup>m</sup>,60, le ballon est gonflé sans obturer ; il y a donc là une cavité, une région où le terrain s'est délayé ; c'est de là que provient l'eau, et de là évidemment aussi que proviennent les sables que la source ramène au jour.

En même temps, un manomètre étant monté sur la source Alice fermée, quand on obturait la source Élisabeth en gonflant le ballon, on constatait presque instantanément, au bout de quelques secondes, un relèvement brusque de la pression. Et inversement quand, dégonflant le ballon, on laissait couler la source Élisabeth.

Or le même procédé employé à la source Alice fit reconnaître que toute l'eau minérale provient du calcaire à entroques, dans trois niveaux bien distincts (de 23<sup>m</sup>,40 à 23<sup>m</sup>,76 ; de 24<sup>m</sup>,09 à 24<sup>m</sup>,34 ; de 25<sup>m</sup>,62 à 26<sup>m</sup>,03, ce dernier étant le niveau principal). L'obturation au-dessus du premier niveau arrête totalement l'écoulement. On put même, par ce moyen, mesurer séparément les débits des trois venues et en faire des prises pour l'analyse, qui révèle des compositions très différentes, d'ailleurs appréciables au seul goût de l'eau. On reviendra sur ce point.

Il résulte de là évidemment que, puisque la source Alice arrive au forage dans le calcaire à entroques, suivant la règle générale à Pougues, et puisque l'une au moins des nappes qui l'alimentent est en communication immédiate avec la source Élisabeth, c'est que les sables de cette dernière source la mettent en communication directe avec le calcaire. C'est donc d'une manière absolument générale que l'on peut dire que toutes les eaux de Pougues circulent dans ce calcaire, qui forme au-dessous de Pougues un niveau aquifère bien défini, mais susceptible de fournir des débits très variables suivant les points : plusieurs sondages (forages Trochereau, Guérault, forage dans la propriété Bert) l'ont traversé sans y trouver d'eau minérale.

On doit se demander maintenant d'où viennent ces eaux et comment elles circulent dans le calcaire. C'est sur quoi l'étude de leur composition chimique va nous donner des renseignements précieux.

*Régime antérieur à 1891.* — Considérons d'abord l'état du bassin avant le grand jaillissement de la source Alice en mars 1891, c'est-à-dire à peu près son état naturel, car les forages antérieurs, de très faible débit, n'avaient pu agir que faiblement sur les conditions de venue au jour des eaux, tant comme débits que comme minéralisation.

Les eaux contiennent toutes, d'une part, une proportion importante d'alcalis, principalement de soude, et accessoirement de potasse ; d'autre part, une quantité analogue, généralement plus grande encore, de chaux, et accessoirement de magnésic ; un peu d'acides chlorhydrique et sulfurique, mais surtout un grand excès d'acide carbonique.

Il n'est pas douteux que ce n'est pas dans le calcaire à entroques que les eaux trouvent à dissoudre les alcalis

qu'elles contiennent ; au contraire, l'acide carbonique qu'elles renferment les rend aptes à dissoudre le carbonate de chaux dans leur circulation à travers les fissures de cette roche. L'existence même de l'acide carbonique en quantités importantes prouve que ces eaux ne sont pas simplement des eaux d'infiltration se chargeant de sels dans un trajet souterrain à travers les couches jurassiques, mais qu'elles viennent, en partie du moins, d'une profondeur plus grande. L'origine volcanique du gaz carbonique qui se dégage en tant de points du plateau central n'est pas douteuse. Il faut donc, au moins pour ce qui est des alcalis et de l'acide carbonique, admettre que c'est dans un trajet souterrain inconnu, à grande profondeur, dans des formations primitives ou volcaniques, que l'eau se minéralise en alcalis et se charge de gaz.

Il en est exactement de même à Vichy, par exemple, où les eaux alcalines et gazeuses s'élèvent par des fractures à travers des couches tertiaires marneuses tout à fait analogues, comme consistance et comme imperméabilité, aux marnes jurassiques de Pougues, mais proviennent sans aucun doute de terrains cristallins riches en alcalis. A Vichy, pour continuer cette comparaison, les eaux jaillissent en certains points directement des fractures (Grande-Grille, Puits Carré, Hôpital, Célestins) ; mais, en outre, rencontrant en divers niveaux des bancs de sable perméable intercalés dans les marnes, elles s'y répandent, et ces sables constituent ainsi des nappes aquifères très régulières où un sondage placé en un point à peu près quelconque rencontre toujours l'eau minérale. Ces nappes sableuses, bien que très perméables, sont en fait très complètement isolées des eaux superficielles, sans doute par l'effet même de la force ascensionnelle de l'eau minérale et de la tension du gaz. De sorte que tous les sondages convenablement captés donnent des eaux exac-

tement identiques comme composition d'un bout à l'autre de ce vaste bassin, et identiques aussi à celles des grands filons naturels de Vichy. Elles n'empruntent à peu près rien aux terrains sableux dans lesquels elles circulent.

A Pougues il en est tout autrement. L'alignement des venues de gaz de Fourchambault à Usseau le long de la grande faille de l'est tend à indiquer dès l'abord que c'est le long de cette fracture que s'élèvent, venant de régions profondes, les eaux chargées d'acide carbonique et d'alcalis, tout à fait analogues à celles de Vichy. Ces eaux rencontrent, à 60 ou 65 mètres du sol, le banc de calcaire bajocien, perméable, comme tous les calcaires, grâce à des fendillements particulièrement nombreux au voisinage de l'accident. Elles s'y infiltrent et n'arrivent au jour, par les fractures sableuses naturelles ou par les sondages, qu'après un trajet assez long dans le calcaire.

Il est clair que, si cette manière de voir est exacte, on ne doit trouver nulle part une teneur en alcalis plus élevée que dans les eaux issues des sondages les plus voisins de la faille. Et, si cette teneur se trouve moindre pour telle ou telle source, c'est que celle-ci reçoit un afflux d'eaux étrangères non alcalines, soit par suite d'un mélange s'effectuant dans le gisement même, soit par l'effet d'un défaut de captage. D'autre part, la teneur en chaux doit être variable; sans afflux d'eaux superficielles, elle doit augmenter à mesure que croît la distance à la faille; un afflux d'eau douce peut atténuer ou même renverser cette augmentation, mais, comme on a dans la teneur en alcalis un moyen de retrouver la proportion de cet afflux d'eau douce, on devra, en le défalquant, constater un accroissement continu de la teneur en chaux en s'éloignant de la faille. Pour effectuer la correction, il suffira de rapporter la teneur en chaux à une teneur constante en alcalis.

Il existe au voisinage de la faille un repère excellent

dans le sondage Saint-Léon, bien capté, situé à 190 mètres environ à l'ouest de l'accident. C'est le sondage le plus rapproché de la faille (le sondage de Bourgneuf n'ayant pas donné de résultat). Conformément aux vues exposées ci-dessus, la source Saint-Léon est plus riche en alcalis que toutes les autres sources de Pougues. Peu avant le jaillissement de la source Alice l'eau contenait 0<sup>gr</sup>,763 de soude (Na<sup>2</sup>O) par litre.

Or cette teneur, loin de se maintenir constante comme à Vichy dans toutes les sources du bassin, ne cesse de décroître graduellement vers l'ouest, à mesure que croît la distance à la faille. Le tableau suivant montre cette décroissance d'après toutes les analyses effectuées avant mars 1891 (\*).

	Distance à la faille	Teneur en Na <sup>2</sup> O par litre	Analyses
Saint-Léon....	190 mètres	0,763	Parmentier, 1891; avant Mars.
Grande-Source.	250	0,722	Parmentier, 1891; avant Mars.
Jeanne-d'Arc..	320	0,569	Parmentier, 1890.
Saint-Léger....	380	0,535	Moyenne de 5 analyses de 1866 à 1891, avant Mars.
Bert.....	660	0,295	Bouis, 1867.
Alice.....	940	0,255	Truchot, 1891; avant Mars.
Élisabeth.....	955	0,242	Carnot, 1890.

Une diminution si régulière ne saurait être l'effet du hasard; elle indique un afflux d'eau non alcaline, croissant régulièrement vers l'ouest, indépendant par suite des conditions particulières de jaillissement et de captage de chaque source et s'effectuant évidemment dans le gisement même des eaux, dans le calcaire à entroques.

(\*) Les distances à la faille ne sont connues qu'approximativement, mais, la direction de l'accident étant bien connue, l'erreur est constante sur les différentes distances.

Cela étant admis, et nous en verrons tout à l'heure d'autres preuves, nous ne connaissons pas la teneur en soude des eaux qui s'élèvent le long de la faille, mais nous pouvons prendre pour type celle qui s'en rapproche le plus, celle de Saint-Léon, et en conclure un minimum de la quantité d'eau superficielle non alcaline que contenait l'eau de chaque source avant l'approfondissement du forage Alice.

Grande-Source....	1 partie d'eau de S'-Léon	+ 0,057	} parties d'eau douce
Jeanne-d'Arc.....	»	+ 0,34	
Saint-Léger.....	»	+ 0,43	
Bert.....	»	+ 1,6	
Alice.....	»	+ 2	
Élisabeth.....	»	+ 2,6	

Quant à la potasse, elle n'existe qu'en très petite quantité ( $\frac{1}{20}$  environ du poids de la soude, rapport à peu près constant et analogue à celui des eaux de Vichy). Dans ces conditions, son dosage, effectué par des chimistes différents, est trop sujet à erreurs pour que l'on puisse en tirer aucune conclusion.

Pour la chaux, le tableau des teneurs, d'après les mêmes analyses, est le suivant.

	Teneur en CaO par litre.
Saint-Léon.....	0,559
Grande-Source.....	0,650
Jeanne-d'Arc.....	0,745
Saint-Léger.....	0,674
Bert.....	(*)
Alice.....	0,632
Élisabeth.....	0,587

Il y a bien, comme on doit s'y attendre, accroissement

(\*) L'analyse de 1867 réunit la chaux et la magnésie sous forme de carbonate.

rapide de la teneur en chaux à partir de la faille vers l'ouest. Mais cette teneur atteint un maximum vers la source Jeanne-d'Arc et, à partir de là, décroît jusqu'aux limites occidentales du bassin, lentement d'abord, puis brusquement de la source Alice à la source Élisabeth (\*). Le diagramme (*fig. 4*, Pl. VII) où l'on a porté en abscisses les distances à la faille, et en ordonnées les teneurs en chaux et soude, met bien en évidence cette loi. On conçoit que, si la dissolution du calcaire augmente bien continuellement la quantité totale de chaux transportée par un litre d'eau venant de la faille à mesure qu'il chemine dans le calcaire, l'afflux d'eau douce peut cependant devenir tel, à partir d'une certaine distance, qu'il compense et au delà l'accroissement de la teneur en chaux. D'où le maximum observé. Mais, si l'explication est exacte, on doit, en défalquant l'afflux d'eau douce précédemment calculé, en rapportant les teneurs en chaux à l'eau alcaline seule, trouver des proportions de chaux régulièrement croissantes depuis la faille vers l'ouest. C'est ce que nous ferons en considérant les variations du rapport du poids de chaux au poids de soude par litre (*fig. 5*).

	Distance à la faille	Rapport $\frac{\text{CaO}}{\text{Na}_2\text{O}}$	(Mêmes analyses que ci-dessus.)
Saint-Léon.....	190 mètres	0,73	
Grande-Source.....	250	0,90	
Jeanne-d'Arc.....	320	1,31	
Saint-Léger.....	380	1,26	
Bert.....	660	?	
Alice.....	940	2,48	
Élisabeth.....	955	2,77	

La diminution après maximum se transforme bien en accroissement continu, sauf légère divergence pour

(\*) La magnésie suit la même loi, mais, comme elle est moins soluble, son maximum est plus voisin de la faille, à la Grande Source : l'accroissement est plus rapidement compensé par l'afflux d'eau douce.

Jeanne-d'Arc et Saint-Léger, dont l'ordre est interverti; mais il s'en faut d'une quantité de l'ordre des erreurs d'analyse admissibles, et, de plus, il est évident qu'en ne considérant que la *distance* géométrique à la faille, nous ne tenons pas compte de la distance réelle qui, au point de vue de la dissolution du calcaire, se mesurerait plus exactement par le *temps* pendant lequel l'eau reste en contact avec le calcaire. La distance en est le facteur le plus important, mais non le seul. On le verra nettement plus loin, au sujet des trois niveaux de la source Alice actuelle.

Ainsi, il semble tout à fait démontré que les eaux de Pougues résultent du mélange de deux eaux d'origines différentes : l'une, gazeuse et principalement alcaline, probablement analogue aux eaux de Vichy, s'élève par la faille, et de là pénètre dans le calcaire qu'elle parcourt de l'est à l'ouest dans un réseau de fissures normales et parallèles à la grande fracture. Elle s'y charge peu à peu de bicarbonate de chaux, jusqu'à en contenir près de quatre fois plus à la source Élisabeth qu'à la source Saint-Léon. Son origine est inconnue, mais certainement profonde et lointaine.

L'autre vient des environs immédiats, des affleurements du calcaire ou des cassures remplies de sable qui le mettent en communication avec la surface, et est exempte de sels dissous et de gaz. Elle dilue l'eau minérale proprement dite, diminue graduellement vers l'ouest la teneur en soude et combat l'accroissement de la teneur en chaux qui tend à se produire dans la même direction. Le mélange se fait en dehors des sources et des captages, dans le calcaire même, graduellement de l'est à l'ouest, et ne saurait être évité. La cause en est dans la nature même du gisement.

Quant au mode d'infiltration de ces eaux superficielles, il est facile de le concevoir : partout où les affleure-

ments du calcaire ou des cassures perméables qui communiquent avec lui se trouvent au-dessus du niveau statique des eaux minérales, les eaux pluviales y pénètrent en refoulant les eaux minérales. C'est ce qui a lieu, par exemple, actuellement dans la cassure de la source Saint-Léger. On le voit mieux encore au sondage exécuté dans la propriété Bert : ce sondage, placé à peu de distance et à 9 mètres au-dessus des sources Massé et où l'eau se tenait autrefois au niveau du sol, est devenu, depuis le jaillissement de la source Alice, un puits absorbant où le niveau se tient à plus de 7 mètres du sol et où disparaissent en peu d'instant des mètres cubes d'eau de pluie. Naturellement, ces effets d'absorption des eaux superficielles, remarqués en maints endroits depuis 1891, sont plus étendus depuis que le jaillissement de la source Alice a abaissé partout le niveau statique des eaux minérales, agrandissant ainsi la zone où le refoulement des eaux minérales par les eaux naturelles est possible, et accroissant aussi la vitesse de ce refoulement, mais ils n'en ont pas moins existé de tout temps.

Pendant la période de perturbations qui suivit l'approfondissement de la source Alice, un assez grand nombre d'analyses furent faites. Pour la source Saint-Léger, où la quantité de gaz libre avait beaucoup diminué, la perte en sels dissous fut considérable. En juillet 1891, le résidu fixé à 180° tombait déjà de 2<sup>gr</sup>,5, chiffre antérieur, à 1<sup>gr</sup>,7, soit une perte de 32 p. 100; en octobre, il atteignait 1<sup>gr</sup>,20; le 1<sup>er</sup> novembre, il n'était plus que de 0<sup>gr</sup>,80. Mais en même temps le débit diminuait graduellement à la prise d'embouteillage telle qu'elle était placée à cette époque, pour s'annuler précisément ce 1<sup>er</sup> novembre. Or on observait dès cette époque qu'un appel effectué sur l'eau minérale, en abaissant le niveau de l'eau dans le puits, améliorait très rapidement la qualité de l'eau, tandis que la stagnation, l'élévation de la source à son

niveau maximum, sans débit ou à faible débit, produisait l'effet inverse. Aussi, lorsqu'on dut successivement, pour pouvoir continuer à embouteiller, abaisser le niveau de la prise, vit-on le résidu salin augmenter de nouveau. Pour comparer les états de la source à deux époques différentes, il faut le faire au moins à débit égal. Dans ces conditions on peut évaluer à 1/3 environ la perte de minéralisation subie par la source Saint-Léger.

Pour la source Alice, qui donnait, le 20 mars 1891, soit le lendemain de son jaillissement, 1<sup>er</sup>,845 de résidu (au rouge sombre), elle n'en fournissait que 1<sup>er</sup>,585 en avril, 1<sup>er</sup>,580 en mai, 1<sup>er</sup>,280 en juin, soit encore une perte de 1/3 environ, à mesure que le débit énorme du début allait en diminuant.

La source Elisabeth, qui donnait 1<sup>er</sup>,66 de résidu à 180° au moment de son jaillissement, en 1890, n'en donnait que 0<sup>er</sup>,70 en septembre 1891.

*Régime actuel : mars 1897.* — On voit que ces analyses indiquent toutes un abaissement général de la minéralisation : il est cependant difficile d'en rien tirer de précis pour cette période transitoire où toutes les données variaient sans cesse. Il fallait, pour reprendre l'étude chimique, attendre qu'un nouvel état d'équilibre fût atteint, condition sensiblement réalisée aujourd'hui depuis assez longtemps. En mars 1897, la source Saint-Léger se trouvait dans l'état qui sera décrit plus loin, à quelque 3<sup>m</sup>,60 au-dessous de son ancien niveau ; la source Alice, depuis plusieurs années, était réglée au faible débit de 3 litres par minute, et en fournissait environ 250 quand on ouvrait en grand le tube de 8 centimètres de diamètre du captage ; mais l'effet de ce réglage au point de vue du relèvement de la pression dans l'ensemble du bassin était à peu près nul à cause de la communication existant entre cette source et la source Elisabeth ; celle-ci, en

effet, mal captée, ne pouvait être fermée ni réglée, une fuite importante dans le captage laissant échapper l'eau en abondance. A ce moment une série d'échantillons furent pris simultanément pour l'analyse et étudiés au laboratoire de l'École des Mines de Saint-Étienne : l'un à la source Saint-Léger, un autre à Saint-Léon, puis à Elisabeth ; et enfin trois à la source Alice, au moyen du dispositif décrit ci-dessus. De ces trois derniers, l'un provient d'au-dessous de 25 mètres et représente la venue inférieure seule ; un autre, au-dessus de 24 mètres, représente la venue supérieure seule ; le troisième, enfin, pris au-dessous de 24 mètres, les deux venues inférieures ensemble. Les débits de ces trois nappes ayant été mesurés en même temps, on peut, de la dernière analyse, conclure la composition de la venue intermédiaire. Ce sont : nappe supérieure, 43 litres par minute ; nappe moyenne, 8 litres ; nappe inférieure, 190 litres.

On a dosé l'extrait sec à 180°, la chaux (après séparation sans dosage de la silice, de l'alumine, du fer et de la magnésie), enfin les alcalis en les transformant en sulfates sans séparer la potasse, dont les analyses antérieures montrent qu'il suffit de tenir compte en admettant que son poids est de 1/20 environ de celui de la soude.

Les résultats ont été les suivants :

	Résidu sec	Chaux	Alcalis (soude + $\frac{1}{20}$ potasse)
Saint-Léon.....	2,5629	0,7078	0,490
Saint-Léger.....	1,7880	0,4911	0,335
Alice {	niveau infér. (190 <sup>l</sup> )	2,0932	0,6102
	niveau moyen (8 <sup>l</sup> )	3,147	0,751
	niveau supér. (43 <sup>l</sup> )	1,9270	0,5831
		moyenne 2,088	moyenne 0,6101
Elisabeth.....	0,9431	0,4141	0,268
			moyenne 0,321

Reprenons les mêmes raisonnements que plus haut. La teneur en alcalis va toujours en diminuant de l'est à

l'ouest, avec une chute brusque à la dernière source, indiquant en ce point un afflux énorme d'eau douce. En conservant comme type l'eau la plus riche en alcalis que l'on ait observée à Pougues, celle de Saint-Léon avant mars 1891, les mélanges relatifs à chaque source s'expriment de la manière suivante :

Saint-Léon .	1 part. de S <sup>t</sup> -Léon anc.	+ 0,55	d'eau douce.		
Saint-Léger.	"	+ 1,28	"		
Alice.....	{	niveau inférieur.....	+ 1,24	" } moyenne	
		niveau moyen.....	+ 6		1,38
		niveau supérieur.....	+ 1,85		
Élisabeth.....		+ 11,5	"		

Les teneurs en chaux varient irrégulièrement d'un point à l'autre, mais en les rapportant à la teneur en alcalis, elles donnent :

	Rapport $\frac{\text{Chaux}}{\text{Alcalis}}$
Saint-Léon.....	1,44
Saint-Léger.....	1,47
Alice (moyenne).....	1,90
Élisabeth.....	6,78

On voit que, comme avant 1891, la teneur en chaux, rapportée à la teneur en alcalis, croît sans cesse quand on s'éloigne de la faille.

Les nouvelles analyses confirment donc complètement les conclusions anciennes relatives à la double origine des eaux. Les teneurs sont très différentes de ce qu'elles étaient, mais suivent les mêmes lois.

On voit aussi que, comme on devait s'y attendre, l'accroissement de l'afflux d'eau douce, dû à l'abaissement du niveau des eaux minérales, a refoulé vers l'est le maximum de la richesse en chaux, qui autrefois se trouvait vers les sources Jeanne-d'Arc et Saint-Léger. Aujourd'hui la source Saint-Léon, appauvrie en soude, est la plus riche en chaux. Plus sodique que calcique avant le changement

du régime, elle est devenue beaucoup plus calcique que sodique.

L'eau de Saint-Léger reçoit aujourd'hui trois fois plus d'eau douce qu'avant 1891 dans les conditions actuelles du débit. Il est remarquable que la diminution de la quantité de sels dissous a porté presque autant sur la chaux que sur la soude (pertes : sur la soude,  $\frac{1}{3}$  environ ; sur la chaux,  $\frac{1}{4}$ ). Il faut voir là évidemment l'indice d'un afflux d'eaux superficielles au voisinage immédiat de la source, dans la cassure même qui lui donne passage. Autrefois refoulée par l'eau minérale, quand celle-ci s'élevait jusqu'au sol, cette eau vient se mélanger avec elle depuis que le niveau se tient à plusieurs mètres au-dessous du sol ; n'atteignant pas le calcaire, elle ne se charge pas d'acide carbonique et de chaux, comme le font les eaux douces qui se mêlent à l'eau minérale dans le calcaire, et tend par conséquent à diminuer proportionnellement les teneurs en chaux et alcalis (rapport  $\frac{\text{CaO}}{\text{Na}^2\text{O}}$  ancien 1,26 ; actuel 1,47).

De sorte qu'à part un certain accroissement relatif de la chaux, dû à l'accroissement de la quantité d'eau douce venant par le calcaire, laquelle diminue la soude sans diminuer proportionnellement la chaux, l'eau actuelle de Saint-Léger diffère assez peu de l'eau ancienne, mais diluée des  $\frac{3}{5}$  de son volume d'eau pure venue en majorité du voisinage immédiat de la source.

Les analyses de la source Alice donnent lieu à une remarque intéressante. Si l'on calcule séparément pour chacun des niveaux le rapport  $\frac{\text{chaux}}{\text{alcalis}}$ , on trouve :

Niveau inférieur (49 <sup>l</sup> ).....	1,79
Niveau moyen (8 <sup>l</sup> ).....	6,9
Niveau supérieur (43 <sup>l</sup> ).....	2,18

Il est très curieux d'abord de constater que ces trois venues d'eau d'un même sondage, séparées par quelques décimètres seulement l'une de l'autre, aient non seulement des minéralisations totales très diverses, mais des proportions relatives de chaux et de soude extrêmement différentes. Le second niveau notamment, très riche en chaux et pauvre en alcalis, présente le même rapport que la source Élisabeth, qui ne paraît être qu'une dilution de l'eau de ce niveau. On a pu en conclure avec quelque vraisemblance, que la communication des deux sources a lieu par ce niveau moyen. Quoi qu'il en soit, ce qui apparaît bien nettement, c'est que le rapport  $\frac{\text{chaux}}{\text{alcalis}}$  est d'autant plus élevé pour chacun des trois niveaux que son débit est plus faible. Ceci vient à l'appui des conclusions déjà indiquées sur l'origine de l'eau : bien que les trois sources qui se réunissent dans ce sondage soient prises à la même distance horizontale de la faille, les eaux du niveau inférieur, les plus abondantes, séjournent moins longtemps au contact du calcaire, et leur rapport  $\frac{\text{chaux}}{\text{alcalis}}$  est ce qu'il serait pour une source moins abondante plus proche de la faille ; et il en est de même de la proportion d'eau douce. Un accroissement de débit agit comme une diminution de distance à la faille. Quand on accroît le débit en un point donné, on exerce sur les eaux de la faille un appel qui l'emporte sur l'appel d'eau douce : l'eau devient plus alcaline et relativement moins calcaire, en même temps moins diluée. Cette règle, générale à Pougues, se vérifie également sur les autres sources, notamment à Saint-Léger.

On remarquera aussi que pour que les trois niveaux de la source Alice, si voisins (intervalle supérieur, 0<sup>m</sup>,33 ; inférieur, 1<sup>m</sup>,28), présentent une telle diversité de minéralisation et suivent chacun pour son compte les lois indi-

quées ci-dessus, il faut que leur séparation s'effectue loin de la source. Cela tendrait à prouver que les niveaux sableux forment des bancs continus d'assez grande étendue, intercalés dans le calcaire et que les entre-deux de calcaire sont, dans cette région éloignée de la faille, très continus et peu fissurés.

Enfin pour la source Élisabeth la teneur en alcalis est devenue très faible, l'afflux d'eau superficielle énorme. Mais de ce que la teneur en chaux est encore relativement élevée, et de la valeur très grande du rapport  $\frac{\text{chaux}}{\text{alcalis}}$  (6,78), on a pu conclure que cette eau douce ne venait en aucune façon du défaut de captage, mais se mélangeait en grande partie à l'eau minérale et au gaz carbonique assez loin de la source pour se charger de beaucoup de bicarbonate calcaire ; le niveau statique des eaux minérales étant bien au-dessus du sol en ce point, une fuite du captage ne peut d'ailleurs occasionner que des pertes d'eau minérale et non des rentrées d'eau douce. Les travaux entrepris peu après pour la réfection du captage ont permis, en effet, de constater, conformément à ces prévisions, qu'il n'existe aucune nappe ni venue d'eau douce autour de la source qui jaillit à travers un sol marneux imperméable, et que le mélange arrive tout formé par le fond du sondage. Les éminences qui dominent au sud et au nord les sources Massé, et où l'on sait d'ailleurs qu'il se produit une absorption considérable d'eaux pluviales (propriété Bert au sud), sont évidemment les points d'infiltration, et la cassure de l'Ancienne Source en est le canal. De sorte qu'en résumé, comme la source Saint-Léger, la source Élisabeth reçoit en même temps : 1° une eau minérale qui est déjà un mélange d'eau de la faille et d'eau douce, venant par le calcaire ; et vraisemblablement d'après l'identité du rapport  $\frac{\text{chaux}}{\text{alcalis}}$  pour cette source

et le niveau moyen de la source Alice, la proportion d'eau douce est de 6 volumes pour 1 volume d'eau de Saint-Léon type ; 2° des eaux douces, 5 vol. 1/2, venant directement de la fracture de l'Ancienne Source, sans avoir le temps de se minéraliser aucunement.

En résumé, l'origine des eaux de Pougues est double et même triple pour deux des sources, celles qui sont en relation immédiate avec les cassures verticales remplies de sable. Toutes les sources reçoivent du calcaire bajocien un mélange d'eau alcaline et gazeuse de la faille et d'eau douce venant des affleurements du calcaire ou de tous les canaux quelconques qui le font communiquer avec le jour en des points assez élevés. Ce mélange, à mesure qu'il s'appauvrit en eau alcaline vers l'ouest, s'enrichit en chaux, de manière qu'il y a quelque compensation entre ces deux effets au point de vue de la minéralisation totale. Mais, en outre, pour les deux sources Saint-Léger et Elisabeth, des eaux douces provenant des alentours immédiats des sources, autrefois refoulées par les eaux venues du calcaire, viennent, par les cassures sableuses, se mélanger à l'eau minérale depuis que son niveau statique s'est abaissé et ne font que la délayer sans y ajouter aucun sel dissous.

Tout cela se passe en dehors des captages, et il est impossible d'y remédier individuellement pour chaque source, la cause étant générale : elle consiste uniquement, cela est démontré par tout ce qui précède, dans la chute de la pression des eaux gazeuses dans le calcaire, chute causée par l'écoulement trop abondant des sources Massé. L'effet de cet écoulement, en ce qui concerne la composition des eaux minérales proprement dites, de celles qui circulent dans le calcaire, a été sensible, mais relativement peu important : il a consisté à refouler plus à l'est le maximum des teneurs en chaux et à diminuer partout les teneurs en soude, c'est-à-dire en somme à

accroître partout la venue d'eau douce *dans le calcaire*.

Mais cet accroissement, que mesure celui du rapport  $\frac{\text{chaux}}{\text{alcalis}}$ , n'est important qu'au voisinage de la faille et ne tend pas d'ailleurs à diminuer notablement la minéralisation totale, l'augmentation de la teneur en chaux compensant plus ou moins complètement la diminution de la soude. Tout autre est l'effet produit par cette chute de pression en ce qui concerne les venues superficielles au voisinage des sources en relation avec les cassures : cet effet est un simple délayage de l'eau minérale, sans compensation. Ainsi la source principale, Saint-Léger, reçoit du calcaire une eau peu différente de l'ancienne ; mais, dans la cassure qui lui livre passage, cette eau se mélange d'une quantité d'eau douce qui en accroît le volume à peu près dans les proportions de 1 à 1,6 (\*).

*Régime particulier de la source Saint-Léger.* — Si cette conception du régime de la source Saint-Léger est exacte, il est clair que les variations du niveau de la source

(\*) Une nouvelle confirmation intéressante des lois qui régissent la composition chimique des eaux de Pougues s'est trouvée, en juin 1897, dans les travaux de réfection du captage de la source Elisabeth. Dans le large puits creusé à cet effet on a observé, au milieu des marnes sèches et imperméables, à quelque 3 mètres de distance de la source Elisabeth vers l'est, du côté de la source Alice par conséquent, un filet d'eau minérale dont l'analyse a fourni les résultats suivants (dosés comme ci-dessus) :

Alcalis (soude + $\frac{1}{20}$ potasse)	Chaux	Proportion d'eau douce	Rapport $\frac{\text{Chaux}}{\text{Alcalis}}$
0 <sup>g</sup> ,149	0 <sup>g</sup> ,5004	1v. S'-Léon ancienne + 4 <sup>v</sup> ,1 eau douce.	3,35

Ce qui montre qu'il s'agissait non d'une infiltration issue du forage, mais d'une petite source bien spéciale, venant se placer, par sa composition, exactement entre Alice et Elisabeth dans la gamme des eaux de Pougues. Il est curieux de voir ces lois se vérifier avec tant de précision sur d'aussi faibles distances.

dans le puits doivent avoir un effet rapide, presque instantané, sur sa composition. Tandis que, si l'eau douce vient tout entière de loin, par la voie du calcaire, cet effet ne peut se produire que très lentement. Or l'existence même de cet effet et son instantanéité ont été remarquées depuis longtemps : toute stagnation de la source au voisinage de son niveau maximum est nuisible à la qualité de l'eau ; tout abaissement du niveau, avec grand débit, augmente immédiatement la minéralisation. On a vu qu'en 1891, lorsque pendant la baisse de la source le niveau vint à s'annuler à l'embouteillage, le résidu par litre s'abaisa à un minimum jamais observé depuis (0<sup>gr</sup>,80) ; un accroissement subit de la minéralisation et de la quantité de gaz suivit l'abaissement de la prise d'embouteillage. Le 2 novembre 1891, on épuisa le puits jusqu'au fond en pompant à raison de 50 litres par minute ; l'eau reprit immédiatement et momentanément une minéralisation beaucoup plus forte et une teneur en acide carbonique beaucoup plus élevée (3<sup>gr</sup>,16 au lieu de 2<sup>gr</sup>,5, la teneur avant 1891 étant de 3<sup>gr</sup>,5 environ). Plus tard, on installa au-dessous de la prise d'embouteillage un large tuyau de vidange permettant d'écouler d'un seul coup, avant l'embouteillage, l'eau accumulée dans le puits, en abaissant ainsi le niveau ; après cette opération le niveau se relevait très rapidement, et l'effet constant était d'accroître la minéralisation et la quantité de gaz.

Ainsi, pendant la stagnation au niveau maximum, c'est l'arrivée d'eau douce qui domine ; pendant les grands débits, à niveau bas par conséquent, c'est l'eau minérale qui vient en plus grande abondance, et ses effets sont à peu près instantanés.

La conclusion est immédiate : le puits de Saint-Léger communique plus librement, par des orifices plus larges, avec les eaux souterraines venant du calcaire qu'avec les eaux de surface. Cela est d'ailleurs manifeste *a priori*

quand on voit cette source, dont le niveau habituel, pendant l'embouteillage, se tient à plus de 4 mètres du sol, recevant une eau minérale dont le niveau statique est à plus de 3 mètres de profondeur, fournir cependant une eau encore très minéralisée. Au niveau actuel, si les eaux de surface venaient aussi facilement dans la cassure que les eaux minérales, la source ne donnerait que de l'eau douce.

Pendant la longue période écoulée avant que des travaux pussent être entrepris pour rétablir le bassin de Pougues dans son état primitif, on essaya de divers moyens pour améliorer, dans la mesure du possible, la qualité de l'eau de la source Saint-Léger. Tantôt le tirage se faisait à faible débit, nuit et jour, dans la crainte de contribuer à la chute du niveau ; tantôt, au contraire, à grand débit, avec forte dépression du niveau, et pendant peu de temps. Ce qui vient d'être dit explique comment le premier procédé a toujours produit de détestables résultats en ce qui concerne la minéralisation : quand la source se trouve à son niveau maximum, le débit d'eau minérale est nul, il ne vient que de l'eau douce ; quand, au contraire, la dépression est forte, le débit d'eau minérale augmente proportionnellement beaucoup plus que celui de l'eau douce, et par conséquent la minéralisation augmente. Le second moyen, adopté aujourd'hui et accentué de plus en plus, fournit une eau d'autant meilleure que la dépression est plus grande. Cette remarque s'applique à toutes les sources minérales qui jaillissent à un niveau inférieur à celui des eaux douces superficielles et qui peuvent en recevoir des infiltrations. Si, comme cela avait lieu à peu près pour Saint-Léger avant 1889, le niveau maximum des eaux minérales était au niveau du sol, il serait indifférent d'adopter l'un ou l'autre mode de tirage, la proportion d'eau douce étant alors indépendante du niveau. S'il était au-dessus, comme cela avait lieu pour Saint-Léger en 1857 (d'après une courbe d'ascension relevée par

M. Pigeon, Ingénieur au Corps des Mines, à cette époque le niveau statique devait atteindre à peu près 1 mètre au-dessus du sol), il faudrait éviter de déprimer la source, au-dessus du niveau des eaux superficielles (\*).

*Débîts et niveaux.* — Il nous reste, pour tracer ce tableau des allures souterraines des eaux de Pougues, à dire quelques mots des observations faites sur les débits des sources, et principalement de la source Saint-Léger. Elles sont basées à Pougues sur des milliers d'observations faites journellement depuis 1891, soit au moyen d'appareils enregistreurs (enregistreur de niveau, baromètre, etc.), soit par expériences régulièrement espacées (débits d'heure en heure pendant l'embouteillage, etc.).

Les eaux venues de la faille et circulant de l'est à l'ouest dans le calcaire, où elles se mélangent graduellement d'eau douce et se chargent de chaux, s'élèvent dans les cassures ou dans les sondages, à travers les marnes imperméables, en vertu d'une certaine pression motrice. Charge hydrostatique ou effet de la tension des gaz carboniques, cette pression des eaux minérales est à peu près constante. En effet les innombrables relevés de niveaux et de pression barométrique montrent constamment, lorsque la source est à son niveau maximum, que ce niveau s'élève de 13 à 14 centimètres quand la pression barométrique baisse de 1 centimètre de mercure, et inversement (\*\*).

(\*) L'expression de niveau *statique* ne doit pas être prise dans le sens absolu. Elle s'entend du niveau maximum où l'eau s'élève dans le puits quand on ne tire aucun débit de la source. Mais il n'y a pas de niveau statique en réalité, l'eau est toujours en mouvement. Quand le niveau reste immobile dans le puits à quelque 3 mètres du sol, c'est qu'évidemment les eaux d'infiltration superficielles refoulent l'eau minérale dans la cassure et descendent vers le calcaire. Autrement l'eau s'élèverait dans le puits jusqu'au niveau de ces eaux superficielles, c'est-à-dire ici jusqu'au voisinage du sol.

(\*\*) Ceci s'observe toujours pour les variations de pression barométrique journalières. Mais il y a, en outre, des changements plus lents du niveau, en relation avec les saisons : maxima en janvier-février et surtout en juin-juillet, minima vers avril et surtout en octobre-novembre. Sur la source Alice, où l'action des eaux superficielles est plus immédiate, le manomètre indique des pressions variant suivant les saisons de 3 ou 4 mètres d'eau : maxima en février-mars-avril, minima en septembre-octobre-novembre.

La charge motrice est donc constante, sauf variations annuelles. Il n'est pas possible d'apprécier exactement les relations entre les variations du niveau et celles du débit sans tenir compte de la pression atmosphérique. Notamment les courbes que trace l'enregistreur de niveau lorsque la source a été dénivelée et remonte dans le puits sans écoulement extérieur (courbes d'ascension) sont fortement déformées par les variations de hauteur barométrique survenant pendant l'ascension. Pour les étudier et les comparer entre elles, il est nécessaire de choisir celles qui ont été tracées à pression atmosphérique à peu près constante et de tenir compte de cette pression.

Le calcaire à entroques, réservoir intermédiaire des eaux, ne peut être assimilé à un récipient dont toutes les parties communiquent librement entre elles. Les eaux n'y circulent que dans les fissures de la roche. Nombreuses et étroites au voisinage de la faille, où le calcaire a été fendillé par l'effort même qui a produit la fracture, ces fissures ne laissent passer chacune qu'un mince filet d'eau. Dans leur ensemble elles offrent, par leur grand nombre, une faible résistance au passage de l'eau qui, de la faille, se dirige vers les sources de l'ouest ; mais individuellement chacune ne peut fournir qu'un faible débit. Un sondage exécuté dans la région voisine de la faille a les plus grandes chances, sur les 5 à 6 mètres d'épaisseur du calcaire, d'en recouper une, mais il n'y trouvera qu'un faible débit. C'est ce qui est arrivé pour les sondages de l'est, Saint-Léon, Jeanne-d'Arc, Grande-Source, dont les débits insignifiants n'ont eu aucune action sensible sur la pres-

trique journalières. Mais il y a, en outre, des changements plus lents du niveau, en relation avec les saisons : maxima en janvier-février et surtout en juin-juillet, minima vers avril et surtout en octobre-novembre. Sur la source Alice, où l'action des eaux superficielles est plus immédiate, le manomètre indique des pressions variant suivant les saisons de 3 ou 4 mètres d'eau : maxima en février-mars-avril, minima en septembre-octobre-novembre.

sion dans l'ensemble du bassin. Placés dans la région qui sépare Saint-Léger de la faille, sans doute pour couper la source dans son trajet souterrain, comme cela peut sembler rationnel *a priori*, ils ont bien tous rencontré l'eau minérale, mais seulement dans l'un des nombreux petits filets qui alimentent les sources situées plus à l'ouest.

Plus loin de la faille, les fissures s'espacent ; beaucoup de sondages n'en rencontrent pas (sondages Trochereau, Guérault). Mais, par contre, on trouve soit des cassures remplies de sable perméable (Saint-Léger, Élisabeth), soit même des niveaux sableux intercalés dans le calcaire (Alice), qui, très étendus et perméables, ramassent les eaux d'un grand nombre de fissures et peuvent fournir par conséquent de beaucoup plus grands débits.

La cassure de Saint-Léger, verticale ou à peu près, est dans ce cas. Les niveaux sableux de la source Alice, qui, d'après ce qu'on a vu plus haut, paraissent fort étendus en plan, sont capables, pour cette raison sans doute, de débits bien plus élevés encore. Bien que plus éloignée de la faille, la source Alice communique plus librement avec elle parce que le nombre des conduits qui l'y rattachent compense et au delà leur plus grande longueur. Saint-Léger vient ensuite, puis les sondages de l'est. On s'explique bien ainsi le grand débit de la source Alice, le débit moindre de la source Saint-Léger, celui moindre encore des sondages de l'est ; l'insuccès de presque tous les sondages de la région centrale et occidentale ; la rencontre constante de l'eau minérale, quoique toujours peu abondante dans ceux qui avoisinent la faille et surtout vers la croisée des deux failles de Pouques et de Germigny (c'est-à-dire dans l'angle nord-est du vousoir de Pouques) ; le fait que ces derniers sondages, qui s'alimentent directement sur la faille par des fissures situées au nord, en dehors du réseau de cassures sur lesquelles puisent les sources Alice et Saint-Léger, ont été peu atteints par les

perturbations dues au jaillissement de la source Alice, tandis que la source Bert, par exemple, placée à l'est de la source Alice, a été anéantie par elle. Enfin l'existence d'un réseau de cassures nombreuses communiquant entre elles semble seule susceptible d'expliquer la régularité de la loi qui régit les compositions chimiques des diverses sources (\*).

Maintenant considérons l'une des sources, Saint-Léger en particulier. La laisse-t-on s'élever dans le puits sans écoulement, elle atteint, au bout d'un certain temps, un niveau maximum, son niveau statique à débit nul, dépendant de la pression atmosphérique, dépendant aussi du niveau des eaux douces, car, comme on l'a vu, il y a forcément, lorsqu'il est établi, descente des eaux douces dans la cheminée ascensionnelle. Supprime-t-on alors brusquement, par exemple au moyen d'un tuyau de vidange, toute l'eau remplissant le puits au-dessus d'un certain niveau, et laisse-t-on la source s'écouler en trop-plein par ce tuyau sans pouvoir s'élever, on voit aussitôt après la source donner un certain débit ; puis, graduellement, ce débit diminue et tend au bout d'un temps très long, se comptant par heures et même par jours, vers une valeur constante beaucoup moindre que le débit initial. Ce débit d'équilibre, de régime permanent, à un niveau donné (c'est-à-dire la surface de l'eau se tenant à un niveau donné, peu importe évidemment le niveau de la prise), est caractéristique de ce niveau tant que la pression atmosphérique, ce que nous supposons à l'avenir, reste constante, et tant que des causes quelconques n'ont pas modifié le niveau statique

(\*) Ces conduits du calcaire ont dû être considérablement élargis pendant la période de libre écoulement de la source Alice. A raison de 200 litres par minute, celle-ci amenait au jour plus de 300 kilogrammes de carbonate de chaux par jour, soit près de 10 tonnes par mois. Saint-Léger en fournit, dans les conditions de tirage actuelles (3.000 à 3.500 litres par jour) à peu près une tonne par an.

de l'eau minérale. Il croît très rapidement quand le niveau s'abaisse. La loi qui relie ce débit de régime à la hauteur du niveau est la véritable caractéristique de la source : le débit à un niveau déterminé, dont on se contente souvent, est une donnée tout à fait insuffisante, car à quelques décimètres plus bas ce débit peut être, suivant le cas, à peine augmenté ou décuplé. Inutile d'insister sur ce point évident (\*).

Maintenant si, au lieu de laisser la source débiter au niveau inférieur après l'abaissement brusque du niveau, on la laisse au contraire immédiatement s'élever dans le puits sans écoulement, on la voit s'élever rapidement, puis de plus en plus lentement et revenir, au bout de peu de temps, au niveau supérieur initial. Si, au contraire, on a d'abord laissé couler l'eau pendant quelque temps, au niveau inférieur, le débit à ce niveau ayant ainsi eu le temps de diminuer, et si l'on ferme alors le tuyau d'écoulement pour laisser la source s'élever, l'ascension se fait plus lentement que dans les premières conditions. Et plus le temps pendant lequel la source a débité au niveau inférieur a été long, plus l'ascension est lente. Elle tend d'ailleurs toujours vers le même niveau maximum ; la forme de la courbe d'ascension est à peu près celle d'une branche d'hyperbole, dont le paramètre est d'autant plus grand que le débit à niveau bas a été plus prolongé. Enfin si, ayant laissé la source s'élever dans le puits après un long temps d'écoulement à niveau bas, on dispose en quelque point plus élevé un trop-plein qui en arrête l'ascension, le débit en ce point croît graduellement et très lentement depuis zéro jusqu'au débit caractéristique du niveau où est placé ce trop-plein. Si, au contraire, l'as-

(\*) Actuellement par exemple (septembre 1897) la source Saint-Léger débite 1 à 2 litres par minute en régime permanent à la margelle (4<sup>m</sup>,28 au-dessous de l'ancienne), 7 à 8 litres à 60 centimètres plus bas, 50 litres environ au fond du puits.

ension a suivi immédiatement l'abaissement brusque du niveau, le débit en ce même trop-plein est d'abord exagéré et tend en diminuant vers la même limite.

On a quelquefois, c'est le cas notamment pour d'anciennes expériences faites sur la source Saint-Léger, cru spécifier mieux l'état d'une source en donnant non seulement le débit à un niveau déterminé, mais le relevé d'une courbe d'ascension à partir d'une certaine profondeur.

Une telle donnée est encore absolument insuffisante si l'on ne spécifie pas le temps pendant lequel la source a été maintenue au niveau inférieur, et il est généralement impossible de le spécifier avec exactitude parce que l'épuisement n'est pas instantané. Il n'y a *aucun rapport* entre le débit de régime à une hauteur déterminée et celui que l'on calcule d'après la vitesse d'ascension de la source au moment où le niveau de l'eau atteint cette hauteur ; l'un peut être, suivant les cas, plus petit ou plus grand que l'autre, et la différence peut être bien supérieure au débit de régime lui-même. Une dénivellation brusque, suivie d'ascension immédiate par exemple, fournit à chaque niveau des débits momentanés énormément supérieurs aux débits de régime.

Lorsque la source atteint sans débit son niveau statique A, il existe au pied de la colonne ascendante, dans le calcaire, une certaine pression, voisine de 5 atmosphères, par exemple, pour la source Saint-Léger, allant à 6 atmosphères plus près de la faille et tombant à 2 1/2 aux environs de la source Alice. Quand on abaisse le niveau en laissant la source débiter à une hauteur déterminée B, il se produit au point considéré une dépression mesurée par l'abaissement du niveau et d'où résulte la vitesse ascensionnelle. Si cette dépression se propageait instantanément à travers les canaux du calcaire jusqu'à une grande distance, jusqu'à la faille par exemple ou tout autre point plus éloigné où règne une charge statique

constante, le débit au niveau B atteindrait instantanément sa valeur constante de régime. Mais cela n'est pas, et il faut en conclure par conséquent que la dépression ne se propage que lentement et progressivement autour du point où la cheminée ascensionnelle de la source atteint le calcaire.

S'il s'agissait d'eau ordinaire, pratiquement incompressible, il semble que cette propagation de la dépression devrait être très rapide; il peut en être autrement pour une eau chargée de beaucoup de gaz carbonique, bien que cependant il ne soit guère probable que du gaz libre non dissous existe aux pressions qui règnent dans le calcaire (\*); l'explication se trouve avec plus de vraisemblance dans la baisse successive du niveau des eaux douces aux points de plus en plus éloignés où elles communiquent avec le calcaire. Qu'elle qu'en soit la raison, le fait est bien établi, la dépression se propage *très lentement* : il a fallu quatre jours pour que l'effet du jaillissement de la source Alice commençât à se faire sentir à la source Saint-Léger, située à 800 mètres de distance environ, et des mois pour que le régime nouveau fût établi (\*\*). Il en est de même quand on modifie le régime en abaissant le niveau de A en B, comme nous venons de le supposer. Si maintenant on a maintenu longtemps la source au niveau B, la dépression a eu le temps de se propager très loin dans le calcaire; et si ensuite on arrête l'écoulement pour laisser l'eau s'élever dans le puits, la vitesse d'ascension au début résulte du débit diminué,

(\*) Si l'eau était saturée de gaz dans le calcaire, elle contiendrait par litre environ 11 grammes de gaz carbonique non combiné. Même en tenant compte de la dilution par les eaux douces, ce chiffre paraît peu vraisemblable.

(\*\*) En juin 1891, par exemple, c'est-à-dire après quatre mois, Saint-Léger débitait encore en régime permanent 8 à 9 litres par minute à 2<sup>m</sup>,10 au-dessous de l'ancien trop-plein, soit à 2<sup>m</sup>,40 environ au-dessus du niveau où l'on retrouve aujourd'hui le même débit.

elle est faible. Mais, à mesure que la source s'élève, la dépression diminuant ainsi que le débit, la charge statique initiale, que l'on ne trouvait après l'écoulement prolongé que très loin de la source, se rapproche peu à peu pour atteindre le pied de la colonne ascensionnelle quand le niveau maximum est rétabli, quand la vitesse d'ascension est devenue nulle. Pendant l'ascension, la vitesse en un niveau C a été à chaque instant moindre que celle qui serait résultée de la dépression A — C, si celle-ci n'avait pas eu le temps de s'étendre au loin.

Si, au contraire, immédiatement après avoir abaissé le niveau en B, on laisse l'eau s'élever sans écoulement, la dépression n'a pas eu le temps d'atteindre des points bien éloignés de la source, et la vitesse d'ascension résulte du débit en B aussitôt après la dénivellation, débit beaucoup plus grand que le débit de régime.

Ainsi, en résumé, une dénivellation même très forte, maintenue pendant peu de temps, est récupérée rapidement; tandis qu'après une dénivellation même faible, mais prolongée, le niveau ne se rétablit qu'au bout de long temps. Ces phénomènes s'observent avec une régularité parfaite sur les sources de Pongues, aussi bien sur la source Alice que sur la source Saint-Léger. Depuis que l'on a adopté pour cette dernière la méthode de tirage à grand débit et pendant un petit nombre d'heures, on a obtenu non seulement une amélioration de la qualité de l'eau, comme on l'a vu plus haut, mais un rétablissement journalier plus rapide du niveau statique.

Ces lois ne sont pas spéciales aux sources de Pongues; elles s'appliquent à toutes les sources jaillissantes. Seulement le mode et la vitesse de propagation de la dépression dépendent de la nature du terrain, du nombre, de la disposition et de la largeur des conduits souterrains. Quand la propagation des dépressions est rapide, on voit le débit, à chaque niveau, atteindre rapidement sa valeur

de régime, et les ascensions se faire avec des vitesses peu différentes, que le niveau bas ait été maintenu pendant un temps plus ou moins long. Si elle est lente, comme à Pougues, on observe tous les phénomènes inverses.

*Conclusion.* — De cette étude est résultée la conclusion pratique que le remède à la situation actuelle n'est pas, comme on l'avait cru d'abord, dans des travaux à effectuer sur la source Saint-Léger elle-même. Toutes les perturbations observées s'expliquent par la dépression causée par le jaillissement de la source Alice ; il est donc nécessaire et suffisant de rétablir la pression ancienne par des travaux portant sur cette source, et forcément aussi sur sa voisine la source Élisabeth qui est en libre communication avec elle. Déjà préconisée dès l'origine, cette solution n'avait pu être appliquée. Les sources étant devenues propriété de la Compagnie des Eaux, les travaux ont été commencés en juin 1897. Ils ont consisté d'abord dans une réfection solide du captage de la source Élisabeth, suivie de l'élévation sur le nouveau tube de captage de cuivre d'une colonne dans laquelle l'eau ne tarda pas à s'élever à plus de 4 mètres au-dessus du sol (\*). La même opération sera faite sur la source Alice, ce qui n'empêchera pas d'en tirer le débit de quelques litres par minute nécessaire pour l'embouteil-

(\*) A ce sujet il peut être utile de faire remarquer que l'ancien tube de captage en fer de la source Élisabeth, retiré en juin 1897, était rongé profondément et percé en plusieurs points par un séjour de sept ans seulement dans l'eau minérale. Le mortier de ciment qui l'entourait était sans consistance, le sable subsistait presque seul. A la source Bert, en 1891, on ne retrouva du tube que des lambeaux corrodés. Beaucoup de sources gazeuses captées par sondage ne doivent le fer qu'elles contiennent qu'à l'action de l'eau sur le tubage du trou de sonde. Le procédé de captage par tubes de fer et coulis de ciment, appliqué à tant de sources gazeuses, est mauvais dès l'origine et ne donne plus, au bout de peu d'années, que l'illusion d'un captage.

lage. L'amélioration sensible déjà obtenue pour le niveau de la source Saint-Léger avant l'achèvement de ces travaux permet d'espérer qu'au bout de quelques mois elle aura repris en même temps un niveau statique plus élevé et, ce qui va de pair, ce qui est aussi le point le plus important, une minéralisation voisine de sa minéralisation ancienne. Mais il est évident que, l'état d'équilibre actuel ayant mis plus d'un an à s'établir, on ne peut compter que sur un retour très lent à l'état ancien.

BULLETIN  
DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR  
SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1896

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident	
2 janvier.	Bateau à vapeur à Cette (Hérault).	Chaudière auxiliaire placée sur le pont du navire. Cette chaudière, de 23 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 4 <sup>h</sup> .5, construite en 1890, était horizontale, à foyer intérieur cylindrique et retour de flamme tubulaire; mais son corps cylindrique (Pl. VIII, fig. 1) n'était pas circulaire; sa section droite, de forme allongée, se composait de deux côtés verticaux parallèles, reliés en haut et en bas par des demi-circconférences. Les faces latérales planes, qui mesuraient 1 <sup>m</sup> .25 de haut, 2 <sup>m</sup> .30 de long, 12 millimètres d'épaisseur primitive, étaient raidies par des fers U verticaux, que des tirants horizontaux relient transversalement d'une face à l'autre. La lame d'eau comprise entre chacune des faces planes d'une part, et le boiler	Division violente du corps cylindrique en deux parties; la partie inférieure a effondré le pont qui la supportait; la partie supérieure, avec tout le reste de la chaudière, a été lancée en l'air et est retombée à 100 mètres de distance. La déchirure s'est faite au bas de chacune des faces latérales planes, le long de la rivure de jonction de cette face avec le berceau demi-circulaire inférieur (fig. 2). Il a été constaté qu'au bas de la face latérale gauche, la tôle n'avait plus, par suite de corrosion, que des épaisseurs variant de 10 <sup>mm</sup> .7 à 5 <sup>mm</sup> .8. Les ailes des fers U étaient réduites à l'état de dentelle et avaient, sur quelques points, presque entièrement disparu. Les rivets de jonction des faces planes avec le berceau avaient leurs têtes coupées.	Deux hommes brûlés, l'un grièvement, l'autre sans gravité.	Mauvais état d'entretien de cette chaudière, dont les formes et dispositions défectueuses soumettaient la jonction du berceau inférieur avec les faces planes à des causes toutes spéciales de fatigue et d'avarie.	
12 janv.	Usine d'électricité, à Paris.	à fait, les tubes et le foyer, d'autre part, n'avait que 0 <sup>m</sup> .10 de largeur; les parties basses comprises entre le foyer et l'enveloppe étaient inaccessibles à la visite.	Chaudière Belleville du type B-7: surface de chauffe, 80 mètres carrés; capacité, 1 <sup>m</sup> 3.9; timbre, 15 kg. Le maximum journalier de vaporisation devait dépasser 20 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Le dernier lavage, effectué le 31 décembre, avait été fait sans grattage propre à enlever les dépôts durcis.	A 6 h. 40 du soir, ouverture du 5 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) de l'élément extrême de droite. L'ouverture, de 0 <sup>m</sup> .30 de long et 0 <sup>m</sup> .09 de bûillement, s'est faite à 90° à gauche de la génératrice inférieure, du côté opposé à la soudure. Le tube rompu et ses voisins montraient de l'oxydation rouge. Les portes de foyer et de boîtes à tubes étaient et sont restées fermées.	Néant.	La rupture du tube paraît devoir être rapportée à un surmenage de la chaudière à l'heure la plus chargée du service, à l'insuffisance de ses nettoyages et peut-être à un manque d'eau partiel.
12 janv.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Babcock et Wilcox, comprenant 14 éléments de 10 tubes vaporisateurs de 0 <sup>m</sup> .07 de diamètre, 3 <sup>mm</sup> .5 d'épaisseur et 3 <sup>m</sup> .66 de longueur. Surface de chauffe, 132 mètres carrés; capacité, 8 mètres cubes; timbre, 10 kg. Le service des générateurs de l'usine, exagérément chargé, avait conduit à en négliger les nettoyages, qu'on avait été loin de faire avec la fréquence et le soin exigés par la nature de l'eau d'alimentation.	Ouverture du 4 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) de l'avant-dernier élément de droite, sur 0 <sup>m</sup> .40 de longueur, avec 0 <sup>m</sup> .08 de bûillement (fig. 3). Ce tube contenait des dépôts formés pour 0,64 de carbonate et pour 0,46 de sulfate de chaux, et dont l'épaisseur variait depuis la génératrice supérieure, où elle était de 3 ou 4 millimètres, jusqu'à la génératrice inférieure où elle atteignait 8, 10 et jusqu'à 17 millimètres. La rupture s'est produite alors que le chauffeur avait ouvert la porte du foyer pour charger le feu. Le clapet automatique d'arrêt de vapeur a rempli efficacement son office, isolant cette chaudière dont le contenu seul s'est épanché dans la chaudière.	Le chauffeur, qui se trouvait devant la porte ouverte du foyer, mortellement brûlé. Un autre ouvrier, présent dans la chaufferie, s'est enfui sain et sauf.	Entartrement du générateur, dont le régime des nettoyages a été insuffisant, en l'absence de moyens propres à prévenir les dépôts adhérents, et eu égard aux dispositions et aux conditions de service de l'appareil.	
12 janv.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type C-5: surface de chauffe, 82 mètres carrés; capacité, 2 <sup>m</sup> 3.4; timbre, 15 kg. La puissance électrique de l'usine, à peu près constante, devait correspondre à une production de plus de 20 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure.	Ouverture du 4 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) de l'avant-dernier élément de droite, sur 0 <sup>m</sup> .33 de longueur, avec 0 <sup>m</sup> .09 de bûillement. Le registre se trouvant calé dans la position d'ouverture en grand, le flux de vapeur et de gaz chauds est sorti par la cheminée, sans forcer les fermetures des portes de façade, ni déplacer sensiblement les trappes d'expansion.	Néant.	La cause générale qui a amené l'accident a été le surmenage de l'appareil.	

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSEQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
14 janv.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type C-5; surface de chauffe, 82 mètres carrés; capacité, 2 <sup>m</sup> 3,4; timbre, 15 kg. La puissance électrique de l'usine, à peu près constante, devait correspondre à une production de plus de 20 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure.	Ouverture du 5 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) du 2 <sup>e</sup> élément de gauche, sur 0 <sup>m</sup> ,40 de longueur, avec 0 <sup>m</sup> ,075 de bâillement. Les trappes d'expansion ont été soulevées et déplacées de 0 <sup>m</sup> ,15 environ chacune vers l'extérieur du massif. Les portes de boîte à tubes et l'une des portes du foyer sont restées fermées; l'autre porte du foyer, dont le verrou ne portait pas dans sa gâche, s'est ouverte.	Néant.	La cause générale qui a amené l'accident a été le surmenage de l'appareil.
24 janv.	Paquebot, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).	Chaudière horizontale cylindrique, de 4 <sup>m</sup> ,15 de diamètre et 2 <sup>m</sup> ,60 de longueur, avec trois foyers intérieurs de 1 <sup>m</sup> ,12 de diamètre et retour de flammes tubulaire; timbre, 10 <sup>kg</sup> ,5,5. Au bas du corps cylindrique, sur la façade d'avant, se trouvent à droite et à gauche des trous d'homme elliptiques mesurant 0 <sup>m</sup> ,40 X 0 <sup>m</sup> ,29 et fermés par des tampons auto-claves. La chambre de chauffe, commune à deux chaudières, n'a que 2 <sup>m</sup> ,40 de recul; elle est, à ses extrémités, bordée par des soutes, et son long côté en face des chaudières est également tout entier bordé de soutes, sauf un tunnel de dégagement, de 1 mètre de large, 4 <sup>m</sup> ,50 de long, prenant origine dans la cloison étanche par une guilloline où l'on ne peut passer qu'en se courbant.	La chaudière était neuve, on avait mis en place les tampons de trous d'homme en formant le joint de chacun d'eux au moyen d'une couronne d'amiante recouverte de toile, on avait ensuite procédé à l'épreuve hydraulique à 16 <sup>kg</sup> ,5, enfin à une première mise en feu. La pression arrivée à 9 kg, un jet violent d'eau et de vapeur se produisit au pourtour du trou d'homme de gauche par suite de la rupture et de la projection d'une partie, longue de 0 <sup>m</sup> ,20, de la couronne d'amiante. Il a été constaté que celle-ci n'avait pas été posée à plat tout autour.	Un des hommes présents ne put franchir l'entrée du tunnel et a été retrouvé mort dans la chaufferie; les autres ont pu fuir par le tunnel, mais 6 ont été brûlés grièvement et 5 d'une manière légère.	Fuite de vapeur et d'eau, consécutive à la malfaçon d'un joint. La gravité des conséquences de cette fuite est attribuable aux dispositions de la chambre de chauffe, étroite, et n'offrant au personnel qu'un seul chemin normal de retraite, situé en face des chaudières.
17 février	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type B-9; surface de chauffe, 98 mètres carrés; capacité, 2 <sup>m</sup> 3,3; timbre, 15 kg. La production de l'usine devait correspondre à une vaporisation de plus de 20 kg. par mètre carré de surface de chauffe, de cinq à six heures du soir. La chaudière avait été lavée la veille, mais cette opération, sans effet sensible sur les dépôts durs et adhérents, avait laissé jusqu'à 4 et 5 millimètres de tartre par endroits.	Ouverture du 7 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) de l'élément médian, sur 0 <sup>m</sup> ,28 de longueur et 0 <sup>m</sup> ,06 de bâillement. Cette ouverture s'est faite à la soudure, angulairement distante de 45° de la génératrice inférieure. La vapeur mise en liberté s'est presque entièrement échappée par la trappe d'expansion et la cheminée; les fermetures des portes de boîte à tubes et de foyer ont bien résisté; une bouffée de vapeur est venue dans la chaufferie par la porte du cendrier.	Néant.	La rupture paraît devoir être principalement rapportée au surmenage de la chaudière, d'où sont résultées, probablement à plusieurs reprises, par insuffisance de l'afflux de l'eau dans les serpentins vaporisateurs et par action des dépôts, des surchauffes qui ont altéré la résistance du tube.
3 février	Sucrerie à Rue, (Somme).	Chaudière horizontale semi-tubulaire à deux bouilleurs inférieurs. Surface de chauffe, 167 mètres carrés; capacité, 18 mètres cubes; timbre, 6 kg.	La chaudière, après un chômage, a été chauffée dans l'état de complet manque d'eau, sur l'ordre du contre-maitre qui croyait l'avoir alimentée, et malgré les objections du chauffeur qui faisait remarquer qu'on ne voyait pas d'eau dans le tube de verre. L'un des bouilleurs s'est ouvert sur toute la longueur de sa virole de coup de feu (fig. 4), l'autre a été bleu et bosselé.	Le chauffeur a été brûlé assez grièvement.	Surchauffe résultant de ce que la chaudière a été chauffée, sur l'ordre du contre-maitre, alors qu'elle manquait d'eau.
4 février	Atelier de mécanicien à Carpentras (Vaucluse).	Chaudière horizontale tubulaire (fig. 5), à foyer intérieur rectangulaire et flamme directe, de 4 <sup>m</sup> 2,4 de surface de chauffe, 0 <sup>m</sup> 3,45 <sup>2</sup> de capacité, timbrée à 5 kg. Le foyer mesurait 0 <sup>m</sup> ,61 suivant l'axe de la chaudière, 0 <sup>m</sup> ,50 de large, 0 <sup>m</sup> ,58 de hauteur. Appareil d'âge et d'origine inconnus, dont le ciel de foyer avait reçu un coup de feu entre les mains de son avant-dernier propriétaire, et que son dernier acquéreur, en 1891, avait cherché à réparer en découpant la plus grande partie de ce ciel et la remplaçant par une pièce de 0 <sup>m</sup> ,47 X 0 <sup>m</sup> ,38 appliquée par en dessous contre l'ouverture et assemblée à son pourtour, au moyen de vis, avec les bords conservés de l'ancien ciel (fig. 6). Une épreuve officielle avait eu lieu à la suite.	Affaissement en grand du ciel du foyer, qui s'est déchiré, dans la tôle primitive, suivant trois côtés du pourtour de la pièce, et rabattu autour du quatrième côté de ce pourtour comme autour d'une charnière. La chaudière a été lancée en l'air par la réaction. Il a été constaté que, suivant la ligne de rupture opposée à la ligne qui a fait charnière, la tôle primitive était profondément corrodée du côté de l'eau; elle était réduite jusqu'à 2 millimètres d'épaisseur, alors que son épaisseur primitive paraît avoir été de 9 millimètres. Il a été reconnu, d'autre part, que le tube indicateur en verre avait ses communications d'eau et de vapeur avec la chaudière presque entièrement bouchées par le tartre.	La chaudière a passé à travers la paroi de l'atelier, mais il n'y a pas eu d'accident de personnes.	Mauvais état du ciel du foyer, profondément aminci par corrosion intérieure au voisinage de la pièce mise en 1891. La pose de cette pièce constituait une réparation vicieuse. Il est possible, d'ailleurs, que le tube indicateur en verre, ayant ses communications presque bouchées, ait induit en erreur sur le niveau de l'eau, et que la ou les surchauffes provenant de cette cause aient contribué à l'accident.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
5 février	Fabrique de glaces à Chauny (Aisne).	Chaudière de Naeyer de 180 mètres carrés de surface de chauffe, 7 mètres cubes de capacité, timbrée à 10 kg. Comme dans toutes les chaudières de ce système, les tubes sont assemblés deux à deux au moyen de boîtes rectangulaires, et de boîte à boîte sont établies des communications obliques par des tampons extérieurs doublement coudés (fig. 7). Chacun des assemblages entre boîte et tampon est réalisé au moyen d'une bague biconique, pénétrant de part et d'autre dans des orifices de 0 <sup>m</sup> ,118 de diamètre; le serrage est obtenu par la pression d'une ancre extérieure dont les deux branches s'appuient sur deux tampons voisins. Le boulon de l'ancre mesure 0 <sup>m</sup> ,022 de diamètre, 0 <sup>m</sup> ,26 de longueur; il est terminé par un ergot ou tête carrée, engagé dans un logement qui fait corps avec la boîte correspondante. Sur chaque tampon doublement coudé appuient deux branches d'ancre.	Un boulon à ancre A (fig. 7), situé au bas du faisceau tubulaire, à l'arrière, s'est rompu, la tête carrée se séparant de la lige (fig. 8). Le tampon à double coude sur lequel appuyait la branche droite de l'ancre, cessant d'être maintenu par celle-ci, s'est dégagé de l'autre ancre qui appuyait sur lui et a été projeté. L'un des vantaux de la porte de boîte à tubes a été arraché de ses gonds et jeté à terre; mais le dégagement de vapeur et d'eau a été inoffensif, le local possédant une ouverture sur cour à l'arrière, de bonnes issues à l'avant, et le clapet automatique d'arrêt de vapeur ayant limité la vidange à la seule chaudière avariée.	Néant.	Fatigue et peut-être malfaçon d'un boulon à ancre d'un générateur de Naeyer, dont la disposition prête à une avarie de ce genre.
6 février	Dépôt de tramways, à Courbevoie (Seine).	Chaudière Babcock et Wilcox dont la conduite d'alimentation se terminait (fig. 9) par un ajutage fileté, légèrement conique, vissé dans un orifice taraudé de la paroi du générateur. Cet ajutage ne pouvait être vissé librement jusqu'à serrage, parce que la tôle du générateur, épaisse de 20 millimètres, était doublée à cet endroit d'une contre-pièce percée d'un trou plus petit que l'orifice taraudé, de sorte que l'ajutage venait buter sur cette contre-pièce et ne	Un ouvrier, qui avait à manœuvrer le robinet placé sur la conduite d'alimentation auprès du générateur, ayant donné un coup de marteau sur la clef pour vaincre sa résistance, l'ajutage est projeté, et l'eau à haute température jaillit par l'orifice. Il a été constaté que les filets de vis n'étaient pas en prise directe, mais empiétés dans un tarte calcaire mélangé d'oxyde de plomb.	Ouvrier grièvement brûlé.	Constitution défectueuse de l'assemblage qui a cédé et dont les filetages n'étaient pas en prise, l'ajutage conique ayant été arrêté dans sa mise en place par la butée d'une tôle intérieure.

7 février	Usine d'électricité, à Paris.	générateur Belleville, type B-0, paraissant moins entartré et ayant à fournir, à cette époque, une vaporisation moindre que ce qui a été dit ci-dessus pour l'accident du 1 <sup>er</sup> février, mais faisant partie de la même batterie.	Rupture de tube vaporisateur, analogue à celle du 1 <sup>er</sup> février.	Néant.	Comme pour l'accident du 1 <sup>er</sup> février.
19 février	Bateau de pêche à vapeur, à Boulogne (Pas-de-Calais).	Chaudière horizontale cylindrique à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire, timbrée à 6 kg.; diamètre intérieur des tubes à fumée, 0 <sup>m</sup> ,074. Un de ces tubes, s'étant écrasé, avait été tamponné à ses extrémités, une quinzaine de jours avant l'accident, au moyen de tampons en fer tronconiques, non reliés l'un à l'autre, simplement chassés au marteau et maintenus seulement par l'adhérence. Du côté de la boîte à feu, dont l'étroitesse rendait le travail malaisé, le tampon n'avait pénétré que de 3 centimètres.	Départ du tampon placé dans la boîte à feu, pendant que le bateau était sur les lieux de pêche. La vapeur, les gaz et les escarbilles ont retenu par le foyer dans la chambre de machine. Le mécanicien devait être sur un banc, à 1 <sup>m</sup> ,75 de la chaudière et à 1 mètre de l'échelle du pont; le patron dormait sur un établi placé symétriquement, du côté opposé à l'échelle.	Les deux hommes qui se trouvaient dans la chambre de la machine ont été tués sur place.	L'accident a eu pour cause la manière vicieuse dont avait été tamponné un tube à fumée écrasé. Le tampon métallique employé n'avait pénétré dans le trou de plaque à tubes que d'une quantité minime; sa forme et le mode général de tamponnement employés prétaient à un accident de ce genre.
24 février	Acierie à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle).	Chaudière verticale, cylindrique, à foyer intérieur et tubes pendentifs Field, actionnant une grue. Surface de chauffe, 15 mètres carrés; capacité, 1 <sup>m</sup> ,3,7; timbre, 7 kg. Le foyer mesurait 1 mètre de diamètre, 1 <sup>m</sup> ,43 de hauteur; sa partie cylindrique était formée d'une seule feuille, d'une épaisseur de 9 <sup>m</sup> ,2 à 9 <sup>m</sup> ,4 en pleine tôle; toutefois cette épaisseur était seulement de 6 millimètres à 6 <sup>m</sup> ,7 autour de la porte du foyer, et de 7 millimètres à 7 <sup>m</sup> ,4 à la base. Epreuve chez le constructeur en mars 1895. La disposition des soupapes ne leur permettait que des levées de 1 millimètre et 0 <sup>m</sup> ,5 respectivement.	La machine était stoppée et les soupapes crachaient, lorsque la tôle cylindrique du foyer se déchira circulairement sur 0 <sup>m</sup> ,40 de longueur le long de sa jonction avec la plaque tubulaire formant ciel, et se replia sur elle-même vers l'intérieur du foyer, en s'arrachant au pourtour du gueulard (fig. 10 à 13). La chaudière tout entière est lancée en l'air comme une fusée. Des épreuves prélevées sur la partie de la tôle la moins déformée ont donné 33 kg. de résistance et 8,25 p. 100 d'allongement en long, 32 kg. et 6,75 p. 100 en travers. Cassure très feuilletée, dont l'examen n'a pu être immédiat.	Quelques dégâts matériels seulement.	La cause de l'accident n'a pu être entièrement élucidée; mais il y a lieu de retenir la faible épaisseur, en regard au diamètre, de cette virole cylindrique extérieurement pressée.
14 mars.	Fabrique de jouets, à Paris.	Petite chaudière verticale en fonte de 0 <sup>m</sup> ,42 de diamètre, 0 <sup>m</sup> ,31 de hauteur et 4 millimètres d'épaisseur seulement, terminée à sa partie supérieure par une bride à angle vif, sur laquelle était boulonné un fond	Explosion survenue pendant que la prise de vapeur était fermée, par rupture circulaire de la paroi cylindrique à la naissance de la bride.	Démolition partielle d'une cloison de bois; pas d'accident de personnes.	L'explosion a vraisemblablement eu pour causes, d'une part, un excès de pression, auquel l'appareil était exposé en l'absence des soupapes de sûreté réglementaires.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
26 mars.	Mines de houille à Portes (Gard).	Chaudière horizontale, non tubulaire, à un bouilleur inférieur. Surface de chauffe, 48 mètres carrés; volume, 22 mètres cubes; timbre, 5 kg. Appareil construit en 1874, mais installé comme chaudière à vapeur en 1886 seulement. Le bouilleur, de 0 <sup>m</sup> ,98 de diamètre et 10 mètres de longueur, était en tôle de 10 millimètres d'épaisseur primitive; mais il reposait, à l'arrière, sur la maçonnerie du fourneau, et le robinet de vidange, placé à cette même extrémité, fuyait depuis quelque temps, de sorte que la maçonnerie était humide; d'autre part, le charbon était pyriteux.	Arrachement d'une partie profondément corrodée, mesurant environ 0 <sup>m</sup> ,20 X 0 <sup>m</sup> ,40, à la partie inférieure arrière du bouilleur (fig. 14, 15 et 16). Au pourtour de l'enlevure, les épaisseurs variaient de 0 <sup>m</sup> ,006 à zéro. En grattant la surface corrodée, on a eu un échantillon d'oxyde contenant 5 p. 100 d'oxyde de fer.	Dégâts matériels importants et grand déversement de vapeur; les chauffeurs se trouvaient éloignés et se sont enflés sains et saufs.	taires, et, d'autre part, la constitution de cette marmite de fonte, sujette à des dilatations inégales au voisinage de l'angle de jonction de sa collerette supérieure avec sa partie cylindrique. Corrosion extérieure profonde, développée au contact de la maçonnerie humide sous l'influence des fumées acides provenant de la combustion d'un charbon pyriteux.
7 avril.	Papeterie, à Conty (Somme).	Tambour sècheur en fonte de 2 <sup>m</sup> ,50 de diamètre et 1 <sup>m</sup> ,35 de longueur, formé d'une partie cylindrique de 22 millimètres d'épaisseur et de deux fonds nervurés, emboîtés dans la calandre et boulonnés chacun sur une bride intérieure venue de fonte avec la calandre au voisinage de chacune des extrémités de celle-ci. Ces fonds étaient en outre reliés l'un à l'autre au moyen de six entretoises de fonte. Timbre, 2 kg. Ce tambour, construit en 1892, avait mêmes dispositions générales, même diamètre.	La calandre s'est brisée circulairement à chacune de ses deux extrémités, immédiatement en-deçà de la bride servant à la fixation du fond correspondant. Le fond de droite et la calandre, projetés d'un côté, défoncèrent un mur; le fond de gauche, projeté de l'autre, fut trouvé brisé en treize morceaux. C'est par une rupture circulaire, placée de même par rapport à la bride de fixation d'un fond, que s'étaient déjà rompus les tambours de Bousbecque et de Cugand.	Dégâts matériels; pas d'accident de personnes.	L'accident doit être avant tout rapporté à la constitution défectueuse de l'appareil eu égard à ses conditions de service. D'une part, la forme du cylindre à ses extrémités n'avait pas été établie de manière à prévenir les inconvénients du retrait de la fonte lors de la coulée de la pièce. L'autre part en raison des dimensions considérables de l'appareil, les dilatations
7 avril.	Fabrique de bobines, à Hasnon (Nord).	Chaudière horizontale cylindrique de 22 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 5 <sup>kg</sup> ,5 et munie à sa partie supérieure d'un trou d'homme elliptique, mesurant 0 <sup>m</sup> ,37 et 0 <sup>m</sup> ,23 suivant les axes. Le tampon, en fonte, présentait à son pourtour, pour s'appliquer contre le cadre, un bord plat de 0 <sup>m</sup> ,035 de largeur, se détachant de la masse centrale par un angle rentrant à arête vive (fig. 17). L'appareil datait de 1877.	Le joint fuyait; deux hommes s'armèrent d'une clef de 0 <sup>m</sup> ,89 de longueur et se mettent à resserrer les écrous sur les chevalets. C'est alors que le bord du tampon se brise circulairement (fig. 17 et 18), à sa jonction avec la masse centrale, qui est lancée à travers trois étages de séchoirs dont elle éventre successivement les planchers.	Deux hommes grièvement brûlés.	Le pourtour du tampon de trou d'homme présentait un angle rentrant à arête vive, le long duquel une fissuration devait tendre à se développer, surtout sous l'influence des serrages exagérés auxquels le joint a dû être exposé. Les données fournies ne permettent pas d'apprécier avec certitude dans quelle proportion l'accident doit être rapporté à une fissuration progressive résultant de ces causes, et au dernier serrage au cours duquel l'explosion a eu lieu.
12 avril.	Papeterie à St-Antonin (Tarn-et-Garonne).	Chaudière de Naeyer de 48 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 8 kg.; diamètre des tubes vaporisateurs, 0 <sup>m</sup> ,10. A la description du système donnée ci-dessus à l'occasion de l'accident du 5 février, il faut ajouter que, sur la boîte rectangulaire inférieure de chaque élément, un seul des deux tampons, marqué (2) sur les fig. 19 à 21, Pl. IX, est un tampon doublement coudé; l'autre, correspondant au premier tube de l'élément et marqué (1) sur les mêmes figures, est un tampon simple, sur lequel n'appuie qu'une seule branche d'ancre. Une bande en fer <i>aa</i> (fig. 19 et 21), de 0 <sup>m</sup> ,075 de largeur, est disposée, comme garantie, devant les tubes de la rangée inférieure; les extrémités des ancres traversent cette bande pour venir s'appuyer contre les tampons (voir fig. 19).	Le tampon simple situé à gauche de la rangée inférieure des tubes fuyait à son emmanchement depuis plusieurs jours. Un ouvrier s'arme d'une clef et se met en position pour resserrer l'écrou du boulon à ancre (le détail de ce boulon est donné fig. 23). C'est alors que celui-ci se détache de la boîte rectangulaire, non par rupture, mais parce que sa tête carrée ou ergot terminal sort de son logement sur cette boîte, ce que la disposition même de ce logement rendait possible (voir en GG', fig. 22, la partie élargie qui permettait la mise en place de l'ergot); et le tampon simple est projeté en faussant la bande de fer de garantie comme le montre la fig. 24.	Un ouvrier tué sur le coup, deux autres brûlés mortellement.	En cherchant à étancher l'assemblage, l'ouvrier a dû imprimer à la tige du boulon un mouvement qui en a dégagé l'ergot terminal de son logement dans la boîte rectangulaire; ce dégagement, dont la possibilité résultait des dispositions de l'appareil, a permis le départ en grand de l'étrier et par suite la projection du tampon, qui est parti en faussant la bande de fer placée en regard.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
17 avril.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type C-7, de 116 mètres carrés de surface de chauffe, 3 <sup>m</sup> 3,6 de capacité, timbrée à 15 kg., construite en 1890. La production de vapeur devait dépasser 20 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure. On chauffait au coke. Le fourneau portait trois trappes d'expansion; mais sur la façade existaient des interstices de près de 1 centimètre de largeur entre les deux vantaux des portes du foyer et entre ces vantaux et le cadre des portes.	Ouverture du 6 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) de l'élément extrême de droite, sur 0 <sup>m</sup> 46 de longueur, avec 0 <sup>m</sup> 15 de bûillement (fig. 24 et 25). Le tube présentait après l'accident, outre cette déchirure principale, plusieurs fentes longitudinales, dont une bûillant de plus de 1 millimètre et longue de 0 <sup>m</sup> 055. Des fentes analogues ont été trouvées sur le tube voisin et sur plusieurs autres. Le métal du tube rompu, ductile dans le sens longitudinal, ne pouvait supporter, dans le sens transversal, de modification de courbure sans se criquer. L'une au moins des trappes d'expansion fonctionnait, mais des jets brûlants se sont fait jour par les interstices au pourtour des portes de foyer; c'est ce qui a brûlé le chauffeur.	Un ouvrier atteint de brûlures peu profondes, à la suite desquelles il a interrompu son service vingt-trois jours.	La rupture semble avoir été le résultat d'une altération du métal, due à une cause restée obscure.
23 avril.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type C-10, de 166 mètres carrés de surface de chauffe, 4 <sup>m</sup> 3,950 de capacité, timbrée à 15 kg.; tubes vaporisateurs mesurant 0 <sup>m</sup> 414 de diamètre intérieur, 5 millimètres d'épaisseur, 2 <sup>m</sup> 18 de longueur. Fourneau muni de trois trappes d'expansion.	Ouverture du 6 <sup>e</sup> tube (à partir du bas) de l'élément extrême de droite; la déchirure, parallèle aux génératrices en son milieu, s'infléchit aux extrémités (fig. 26 et 27); de sorte qu'un lambeau de tôle s'est rabattu vers l'extérieur, produisant une ouverture longue de 0 <sup>m</sup> 30 et largement béante, d'aire notablement supérieure au double de la section droite du tube. Des traces de surchauffe se voyaient au bas du faisceau; plusieurs chevilles étaient fondues; il ne restait d'eau, lors de l'enquête, que dans les tubes du bas; enfin il paraît qu'un robinet de la conduite d'alimentation a été trouvé fermé après l'accident.	Néant, ce qui donne occasion de remarquer les effets salutaires de l'application des trappes d'expansion et des fermetures solides de devantures.	Manque d'eau.

14 mai.	Fabrique de balles de corne, à Paris.	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, de 22 mètres carrés de surface de chauffe, 4 mètres cubes de capacité, timbrée à 5 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en deux tubes de verre; mais l'un d'eux avait été annulé par la fermeture de ses robinets de communication avec la chaudière, à cause d'une fuite de son robinet purgeur, et il est possible (bien qu'il y ait à cet égard une incertitude d'enquête) que l'autre fût bouché à son extrémité supérieure par la bague de caoutchouc.	Trappes d'expansion à onclisme; les fermetures de façade ont résisté. Ouverture de l'un des bouilleurs au coup de feu, sur 0 <sup>m</sup> 38 de longueur, avec bûillement de 0 <sup>m</sup> 065. L'explosion n'a produit aucun dégât notable, et il n'y eut, paraît-il, qu'une quantité insignifiante d'eau projetée hors de la chaudière.	Chauffeur brûlé assez grièvement.	L'explosion paraît avoir été la conséquence d'un manque d'eau.
19 mai.	Dépôt de tramways à la Maltonnée (Seine-et-Oise).	Récipient de vapeur ou bouillotte placée sur une voiture automotrice à aéro-vapeur (système de traction Mekarski). Cette bouillotte contient de l'eau à haute température, qu'on réchauffe et renouvelle périodiquement en y envoyant de la vapeur d'une batterie de chaudières timbrées à 6 kg.; d'autre part, en cours de marche, elle est traversée par l'air qui arrive des réservoirs ou accumulateurs de la voiture (où il est emmagasiné sous la pression de 40 à 45 kg.), barbote au travers de l'eau de la bouillotte et se rend de là aux cylindres moteurs. La bouillotte, qui sert ainsi de réservoir intermédiaire au fluide moteur, est timbrée à 45 kg. Construite en 1887, cette bouillotte mesurait 0 <sup>m</sup> 45 de diamètre, 1 <sup>m</sup> 43 de hauteur; son fond inférieur était une calotte emboutie dont les formes et épaisseurs ont été trouvées les suivantes (fig. 28): rayon de courbure général, 0 <sup>m</sup> 65; rayon du congé de raccordement périphérique, 0 <sup>m</sup> 033; épaisseur, 10 <sup>mm</sup> 5. Aucune vérification de l'état intérieur de ce récipient n'avait eu lieu depuis sa mise en service.	Au moment où la voiture venait d'achever au dépôt le réchargement de ses réservoirs, départ violent du fond inférieur de la bouillotte, qui s'est rompu circulairement à son congé périphérique, suivant la zone des flexions, et a été projeté vers le bas, tandis que le reste du récipient a été lancé en l'air. La ligne de séparation présentait sur presque tout le pourtour des cassures pré-existantes, partant de la face intérieure et pénétrant plus ou moins profondément dans la tôle; l'une d'elles, de 0 <sup>m</sup> 30 de longueur, ne laissait qu'une épaisseur de métal sain variant de 4 <sup>mm</sup> 5 à 1 millimètre. La face interne du fond qui s'est détaché portait le long de la ligne de rupture, sur une zone de 0 <sup>m</sup> 02 de largeur, des corrosions généralement circulaires, ayant une profondeur de 1 à 3 millimètres et diminuant d'importance à mesure qu'on s'éloignait du bord de la cassure.	Un agent a été brûlé aux jambes, sans gravité.	Fissures et corrosions en silon, développées dans le congé périphérique du fond inférieur de la bouillotte. La trop brusque courbure de ce fond, d'autant plus critiquable qu'il s'agissait d'un appareil soumis à des variations de pression étendues, explique aisément le développement de ces avaries, qui se sont produites à des degrés divers, au pourtour de tous les fonds des bouillottes du même type.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
20 mai.	Soudière à Varangéville (Meurthe-et-Moselle).	Surchauffeur système Schwærer, composé de tuyaux reliés par des coudes de manière à former serpent. Le système se termine par deux tubulures en fonte de 0 <sup>m</sup> .20 de diamètre extérieur, servant l'une à l'entrée, l'autre à la sortie de la vapeur, et faisant saillie hors du fourneau de maçonnerie. Ces tubulures ont des fonds partiellement formés d'une paroi plane dont l'épaisseur, pour le fond qui s'est brisé, n'était que de 5 à 10 millimètres (fig. 29). La capacité du surchauffeur est 694 litres, son timbre 12 kg.; il est adjoint à une chaudière de 79 mètres carrés de surface de chauffe et 19 mètres cubes de capacité, qui fait partie d'une batterie de six générateurs, non munie des clapets d'arrêt de vapeur prescrits par le décret du 26 juin 1886.	Le surchauffeur n'était pas en service, mais on eut à exécuter une manœuvre de vanne qui le mettait momentanément en communication avec la conduite générale de vapeur de la batterie. La pression dans cette conduite devait être 0 <sup>m</sup> .25, et c'était la première fois qu'on admettait ainsi la vapeur dans le surchauffeur froid. Pendant qu'on exécutait la manœuvre, le fond plat de la tubulure de sortie se brisa sur 1 décimètre carré (fig. 30), et un torrent de vapeur et d'eau se déversa par l'ouverture. Il y a eu entraînement non seulement d'eau, mais de dépôt boueux provenant des chaudières.	Trois employés de l'usine ont été brûlés, l'un mortellement, les deux autres d'une manière plus ou moins grave.	Vice de fabrication consistant en un défaut d'épaisseur de la paroi de fonte qui s'est brisée. Il est possible, en outre, que cette rupture ait dû en partie la gravité de ses conséquences à l'absence, sur la batterie des chaudières, des clapets automatiques d'arrêt de vapeur, ce qui a prolongé le jet de vapeur et d'eau brûlante par l'ouverture de la pièce rompue.
23 mai.	Teinturerie à Honfleur (Calvados).	Petite chaudière cylindrique verticale de 0 <sup>m</sup> .41 de diamètre et 0 <sup>m</sup> .30 de hauteur, formée d'une tôle de cuivre de 1 millimètre environ d'épaisseur. L'appareil n'avait pas été éprouvé, sa paroi était chauffée au-dessus du niveau de l'eau, et le tube en verre qui était le seul appareil indicateur de ce niveau, avait sa communication intérieure bouchée par le tartre.	La virole cylindrique s'est déchirée le long de la génératrice suivant laquelle la tôle de cuivre était assemblée à elle-même par brasure, et les fonds se sont détachés.	Pas d'accident de personnes; bris de vitres.	La chaudière était installée et fonctionnait contrairement à toute prudence. Il est vraisemblable qu'une surchauffe a été la cause déterminante de l'explosion.
23 mai.	Usine à plâtre, à Vaux (Seine-et-Oise).	Chaudière verticale à foyer intérieur et bouilleurs croisés, construite en 1877. Surface de chauffe, 6 <sup>m</sup> .40; capacité, 0 <sup>m</sup> .791; timbre, 6 <sup>m</sup> .5.	Le bouilleur fissuré, qui se trouvait, d'autre part, aminci par la corrosion extérieure jusqu'à n'avoir plus, en un point, que 0 <sup>m</sup> .15 d'épaisseur.	Chauffeur brûlé mortellement.	Corrosion extérieure profonde, qui avait aminci l'un des bouilleurs traversant le foyer jusqu'à ne plus laisser,
29 mai.	Papeterie à Miribel-les-Echelles (Isère).	Lessiveur rotatif, cylindrique, horizontal, mesurant 2 <sup>m</sup> .06 de diamètre et 5 <sup>m</sup> .60 environ de longueur (fig. 34); capacité, 18 mètres cubes; timbre, 5 kg. Appareil construit en 1881; sa partie cylindrique était formée de trois viroles, composées chacune de quatre feuilles de tôle dont l'épaisseur, réduite de quelques millimètres par l'usure intérieure, n'était plus que de 10 millimètres. L'une des feuilles de la virole du milieu portait en son centre une ouverture rectangulaire de 1 <sup>m</sup> .20 X 0 <sup>m</sup> .92, armée d'un cadre en fonte qui débordait vers l'intérieur de l'ouverture et contre lequel prenait appui une porte autoclave, munie de deux chevalets (fig. 35).	longueur et 0 <sup>m</sup> .10 de largeur (fig. 31 à 33). La chaudière s'est vidée par cette ouverture, qui se trouvait orientée vers la porte du foyer; le chauffeur a fui; mais, en se dirigeant vers l'issue du local, il se trouvait poursuivi par le jet brûlant.	Dix personnes blessées légèrement.	ce bouilleur d'une épaisseur d'une faible fraction de millimètre. L'observation de l'article 36 du décret du 30 avril 1880 a été, dans l'espèce, d'autant plus inexcusable que le bouilleur avait précédemment montré deux fissures, dont l'une avait fui.
18 juin.	Tissage de coton, à Rouen (Seine-Inférieure).	Tambour d'encolleuse de 2 mètres de diamètre et 1 <sup>m</sup> .40 de longueur, construit en 1878, timbré primitivement à 2 <sup>m</sup> .5 et fonctionnant d'ordinaire à 1 <sup>m</sup> .5. Sa partie cylindrique n'était formée que d'une tôle de cuivre de 3 millimètres d'épaisseur primitive seulement, assemblée à elle-même le long d'une génératrice. En 1887, épreuve décennale sans incident. En 1896, déchirure longitudinale à la mise en marche; on fait une réparation consistant à réduire le diamètre de 0 <sup>m</sup> .04; les bords de la déchirure, battus et formés en crochets, sont soudés au cuivre et raidis par un placage d'étain à l'intérieur. A la suite de cette opération, épreuve pour le timbre de 2 kg.	Ouverture du cylindre, quelques instants après une mise en fonctionnement, par une déchirure qui suit sur une certaine longueur la soudure, puis s'en écarte et se propage en pleine tôle. Un lambeau de tôle de 0 <sup>m</sup> .201 a été projeté, mais sans atteindre personne. Sur les bords de la partie déchirée située en pleine tôle, les épaisseurs mesurées varient de 2 <sup>m</sup> .2 à 4 <sup>m</sup> .9.	Néant.	L'explosion a eu pour cause essentielle la production de cassures dans le cadre en fonte de l'orifice de chargement. Cet orifice, en raison de ses dimensions considérables, ne pouvait être suffisamment armaturé par un cadre, dont ni la matière ni la forme n'assuraient la résistance nécessaire, et la formation des cassures qui ont compromis la solidité de ce cadre s'explique aisément.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
19 juillet.	Réseau de tramways, à Nogent-sur-Marne (Seine).	Réceptif de vapeur ou <i>bouillotte</i> d'une voiture automotrice à aéro-vapeur. Cette bouillotte était du même modèle et appartenait à la même série de fabrication que celle qui avait fait explosion le 19 mai. Déjà, au début de l'année, une première bouillotte de cette série (qui en comprenait six) avait dû être mise hors service en raison d'une fuite provenant d'une fissure au congé de l'un des fonds.	Même accident que le 19 mai, survenu également au moment où l'on venait de recharger les réservoirs d'air comprimé. La cassure circulaire, suivant laquelle le fond inférieur s'est détaché, n'était fraîche que sur une épaisseur variant de 2 à 5 millimètres. Les corrosions en sillon occupaient une zone de 2 ou 3 centimètres de largeur (fig. 36 et 37). Sur les trois autres bouillottes formant le complément de la série, l'enquête a reconnu des détériorations similaires; elles ont été retirées du service.	Le machiniste et l'ouvrier du rechargement blessés grièvement.	Comme le 19 mai.
8 août.	Cartonnerie, à Pontreux (Côtes-du-Nord).	Tambour sécheur de 1 <sup>m</sup> ,20 de diamètre et 1 <sup>m</sup> ,80 de longueur, timbré à 2 <sup>kg</sup> ,5, construit en 1885, réapprouvé en 1895. Chacun de ses fonds portait un regard elliptique de 0 <sup>m</sup> ,16 de grand axe, 0 <sup>m</sup> ,10 de petit axe, fermé, non par un autoclave, mais par un tampon extérieur mesurant 0 <sup>m</sup> ,20 et 0 <sup>m</sup> ,14 suivant ses axes, et tenu appliqué contre l'ouverture par un T ou boulon à ancre. La constitution de ce T était vicieuse: il se composait de deux morceaux de fer, une tige cylindrique et une tête trapézoïdale; on avait pratiqué dans la tête (probablement par poinçonnage) une cavité où l'on avait introduit l'extrémité de la tige, puis cherché à souder le tout. La soudure n'avait pas donné à l'ensemble une homogénéité suffisante: la tête conservait une section faible à l'endroit des plus grands efforts, et la corrosion avait mordu à la jonction des deux parties.	On avait refait, en juillet, le joint du tampon, sans s'apercevoir que le boulon à ancre était en mauvais état. Moins de deux heures avant l'accident, le joint s'étant mis à suinter, on avait disposé une gouttière pour recueillir l'eau de la fuite; puis, celle-ci augmentant, on s'occupait de fermer l'admission de vapeur au tambour, quand le tampon fut projeté par suite de la rupture de la tête du T en son milieu, et la vapeur se déversa par l'ouverture du regard.	Deux ouvriers brûlés, l'un mortellement, l'autre d'une manière grave.	Vice de fabrication du boulon à ancre qui maintenait le tampon. La disposition non autoclave de la fermeture n'est pas recommandable par elle-même. Mais il y a surtout lieu de retenir, dans l'espèce, que le mode de fabrication du boulon à ancre était foncièrement vicieux, et exposait au défaut de soudure qui a rendu précaire la solidité de cette pièce et qui, ultérieurement aggravé par les serrages et les corrosions, a abouti à l'accident.
17 août.	Electro-metallurgie du cuivre, à Dives (Calvados).	Chaudière à tubes d'eau, système Roser, de 202 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 11 kg. — Les tubes mesurent 0 <sup>m</sup> ,11 de diamètre et 4 <sup>m</sup> ,90 de longueur.	Ouverture d'un tube de la rangée supérieure, par décollement de la soudure sur 1 <sup>m</sup> ,10 de longueur, et à chaque extrémité, sur 0 <sup>m</sup> ,25 de longueur, par propagation de la déchirure en plein métal (fig. 38). Le bûillement a atteint 0 <sup>m</sup> ,20, et la déformation s'est accompagnée de criques nombreuses; un morceau de faibles dimensions a été projeté. Epaisseurs le long de la déchirure, variant de 4 <sup>mm</sup> ,1 à 4 <sup>mm</sup> ,6. La soudure avait eu un recouvrement insuffisant, et le métal était aigre et cassant.	Neant.	Décollement de la soudure d'un tube vaporisateur mal fabriqué.
20 août.	Brasserie, à Creil (Oise).	Générateur horizontal à deux bouilleurs, avec retour de flamme par quatorze tubes à fumée traversant le corps cylindrique; timbre, 6 kg. Tubes à fumée mesurant 0 <sup>m</sup> ,10 de diamètre et 2 <sup>m</sup> ,50 de longueur. Dans la construction primitive, qui date de 1882, ces tubes étaient tous en laiton, d'une épaisseur de 2 <sup>mm</sup> ,5; depuis lors, une partie seulement des tubes en laiton avait été remplacée par des tubes en fer. Les portes de la boîte à fumée n'étaient maintenues chacune que par un loquet. La chaudière n'offrait qu'une seule issue.	Fragmentation d'un tube à fumée en laiton de la rangée supérieure, en de nombreux morceaux qui n'ont pu être tous retrouvés; il ne restait, adhérents aux plaques tubulaires, que deux fragments longs de 0 <sup>m</sup> ,20 et 0 <sup>m</sup> ,35. Les épaisseurs constatées ont varié de 2 <sup>mm</sup> ,5 à 1 <sup>mm</sup> ,5. L'une des portes de boîte à fumée s'est ouverte sous l'action du flux de vapeur, qui a envahi la chaudière. Voir, au sujet de cet accident et de ses analogues, <i>Annales des Mines</i> , 9 <sup>e</sup> série, tome XI, p. 544 et suiv.	Le chauffeur grièvement brûlé.	Altération et usure d'un tube à fumée en laiton, de grand diamètre et de faible épaisseur, appartenant à la partie supérieure du faisceau, et dont le métal, aminci par l'usure, avait dû en outre se trouver aigri au cours de quatorze années de service. Ces circonstances générales sont celles d'autres cas analogues où des fragmentations du même genre se sont produites.
21 août.	Sucrerie, à Saint-Fargeau (Seine-et-Marne).	Chaudière verticale à foyer intérieur et bouilleurs croisés, de 5 <sup>m</sup> ,75 de surface de chauffe, 0 <sup>m</sup> ,3,890 de capacité, timbrée à 5 kg. Foyer de 0 <sup>m</sup> ,80 de diamètre, avec bouilleurs de 0 <sup>m</sup> ,40 de diamètre, construits en tôle de 9 millimètres d'épaisseur primitive. Age inconnu; dernière épreuve en 1888. La cheminée en tôle, de 8 mètres de hauteur, était pourvue d'un registre qu'on fermait presque complètement le soir, lorsqu'on voulait conserver le feu jusqu'au lendemain. De plus, la chaudière ne servait que d'une manière intermittente. De l'eau mêlée de suite avait dû goutter sur le bouilleur supérieur, situé au-dessous de la cheminée.	Déchirure du bouilleur supérieur, qui s'est crevé en pleine tôle, un lambeau de 0 <sup>m</sup> ,18 de longueur et 0 <sup>m</sup> ,08 de largeur se rabattant autour d'un de ses grands côtés et laissant béant un trou de mêmes dimensions. Cette partie du bouilleur était celle tournée vers le haut et située juste au-dessous de la cheminée; elle était tellement corrodée que les épaisseurs mesurées au pourtour de l'enlèvement ont varié de 1 <sup>mm</sup> ,5 à 0 <sup>mm</sup> ,7.	Le chauffeur, brûlé aux pieds, a subi plus de vingt jours d'incapacité de travail.	Corrosion extérieure profonde du bouilleur supérieur, dans la partie de ce bouilleur située au-dessous de la cheminée. Les dispositions de cette cheminée et les conditions de fonctionnement de la chaudière prétaient à une corrosion de ce genre, que l'exécution de l'article 36 du décret du 30 avril 1880 aurait fait apercevoir en temps utile.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
9 sept.	Grue flottante à Rouen (Seine-Inférieure).	Chaudière verticale à foyer intérieur et tubes vaporisateurs pendants, système Field. Timbre, 10 kg.; tubes pendants de 0 <sup>m</sup> ,06 de diamètre et 0 <sup>m</sup> ,003 d'épaisseur, en fer, soudés à recouvrement.	L'un des tubes Field s'est ouvert sur 0 <sup>m</sup> ,16 de longueur, le long d'une génératrice très voisine de la soudure. Un jet de vapeur s'est fait jour par-dessous la grille du foyer.	Un ouvrier qui se trouvait à bord du ponton, reculant à la vue du jet de vapeur, est tombé à l'eau et s'est noyé.	Rupture d'un tube pendentif, système Field, dans la région de la soudure longitudinale de ce tube. La cause de cette rupture n'a pas été déterminée avec certitude.
16 sept.	Chemin de fer entre Abbeville et Dompierre (Somme).	Chaudière locomotive timbrée à 10 kg., construite en 1889, dans laquelle un tube à fumée, situé tout à fait au bas du faisceau, avait été supprimé, et les trous correspondants des plaques tubulaires avaient été obturés par de simples bouchons vissés. Le bouchon côté foyer, vissé dans la plaque tubulaire en cuivre de 0 <sup>m</sup> ,025 d'épaisseur, était en fer, de forme tronconique, avec sa grande base du côté du feu (longueur, 0 <sup>m</sup> ,034; diamètres des bases, 0 <sup>m</sup> ,048 et 0 <sup>m</sup> ,045). Il était fortement corrodé; sa tête carrée terminale avait entièrement disparu.	En cours de route, alors que le manomètre marquait, paraît-il, 8 <sup>kg</sup> ,5, le bouchon se détache et est projeté dans le foyer, dont la porte s'ouvre sous l'action du jet d'eau et de vapeur. Il a été constaté que les filets de vis de ce bouchon, très détériorés, étaient empâtés dans du minium, des oxydes de fer et du tartre.	Mécanicien et chauffeur grièvement brûlés.	Disposition vicieuse et mauvais état d'un bouchon qui obturait, dans la plaque tubulaire du foyer, le trou correspondant à un tube supprimé.
1 <sup>er</sup> oct.	Bateau à vapeur à St-Nazaire (Loire-Inférieure).	Chaudière à tubes d'eau, système Ortolle, timbrée à 8 kg.	Rupture d'un tube vaporisateur.	Chauffeur assez grièvement brûlé.	Cause non précisée.
5 octob.	Filature à Monville (Seine-Inférieure).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs inférieurs de 27 mètres carrés de surface de chauffe, 7 mètres cubes de capacité environ, timbrée à 6 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un flotteur magnétique. Le tube de verre communiquait avec le générateur (fig. 39, Pl. X) par un tuyau de vapeur de 8 millimètres de diamètre, réduit à 5 millimètres à son insertion sur la chaudière, et par un tuyau d'eau en forme de T.	Ouverture du bouilleur de droite, au coup de feu, sur 0 <sup>m</sup> ,80 de longueur, avec hâillement de 0 <sup>m</sup> ,20; démolition de la devanture du fourneau. Quantité d'eau insignifiante déversée dans la chaudière. Les deux bouilleurs étaient bleuis. Le bouilleur non rompu ne contenait presque plus d'eau. La chaudière était propre. Bien qu'il y ait eu certainement manque d'eau, le flotteur magnétique n'a pas sifflé avant l'accident.	Néant.	Surchauffe par manque d'eau, dont l'origine doit se rattacher à un fonctionnement defectueux des appareils indicateurs.

Tompe XII, 1897,

19 oct.	Chemin de fer, ligne de Marseille à Veynes (réseau Paris-Lyon-Méditerranée).	Chaudière locomotive, dans laquelle le tube à fumée qui s'est rompu avait été mis en place en novembre 1892; c'était un tube de laiton de 2 millimètres d'épaisseur primitive, mais qui n'était pas neuf lors de sa pose dans cette chaudière; il avait été raboté.	Rupture d'un tube à fumée qui présentait une diminution d'épaisseur importante, variable d'ailleurs d'un point à l'autre; après grattage, l'épaisseur restante s'est réduite à zéro en certains points. Le jet d'eau et de vapeur ouvrit la porte du foyer.	Mécanicien grièvement brûlé.	Usure du tube, qui ne pesait plus que 1 <sup>kg</sup> ,760 par mètre dans la région avariée et dont l'épaisseur était, par places, réduite jusqu'à néant.
2 nov.	Sucrerie à Rue (Somme).	Chaudière horizontale semi-tubulaire, à deux bouilleurs inférieurs, de 160 mètres carrés de surface de chauffe, 16 mètres cubes de capacité; timbre, 6 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un flotteur magnétique. Ce générateur faisait partie d'une batterie dont l'alimentation était confiée à un ouvrier spécial qui se tenait sur le massif. Le jour de l'accident, l'alimenteur ordinaire n'était pas venu à son service et avait envoyé à sa place un ouvrier qui n'avait jamais fait ce travail.	L'ouvrier inexpérimenté, préposé à l'alimentation, est resté cinq heures sans envoyer d'eau dans ce générateur, parce que, dit-il, l'aiguille du flotteur magnétique restait constamment au sommet de sa course et le tube de verre contenait toujours de l'eau. Ouverture du corps cylindrique le long de la rivure longitudinale de droite de la virole d'arrière; le métal montrait des traces de surchauffe. La chaudière est restée en place, mais les dégâts ont été importants aux maçonneries et aux conduites de vapeur. Les clapets automatiques d'arrêt de vapeur ont fonctionné.	Deux ouvriers brûlés sans gravité; assez grands dégâts matériels.	Surchauffe par manque d'eau
10 nov.	Usine d'électricité, à Paris.	Générateur Belleville type B-7, de 80 mètres carrés de surface de chauffe, timbré à 15 kg. Il paraît que l'appareil avait été lavé sept jours avant l'accident, avec détampage de l'élément extrême de droite. La vaporisation pouvait dépasser 20 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Le fourneau de ce générateur portait à sa partie supérieure des trappes d'expansion.	A l'élément extrême de droite, déchirure du 9 <sup>e</sup> tube à partir du bas (situé à peu près à mi-hauteur du faisceau), en dehors de la soudure et sur presque toute la longueur du tube, jusque dans la partie filetée à l'intérieur de la boîte de raccordement d'avant (fig. 42 à 45); hâillement, 62 millimètres. Le métal était bleui localement, et le tube contenait, vers son extrémité antérieure, un dépôt adhérent, constitué par des plaquettes de tartre agglutinées et occupant les deux tiers de la section dudit tube (fig. 40 et 41). Les	Néant.	Surchauffe locale, attribuable à un défaut de circulation, en raison de la présence d'un amoncellement de dépôt à l'extrémité de l'un des tubes de l'élément; les conditions de la circulation pouvaient, d'ailleurs, être rendues délicates par l'activité de la vaporisation. La manière dont le tube, sous l'influence de la surchauffe, s'est ouvert sur la presque totalité de sa longueur semble indiquer que

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
13 nov.	Sucrerie, à Saint-Beauzire (Puy-de-Dôme).	Batterie de quatre générateurs, du type horizontal semi-tubulaire à deux bouilleurs inférieurs. Les huit bouilleurs étaient reliés, à l'arrière, par un collecteur de vidange commun, en cuivre, entièrement rectiligne, sans aucune disposition propre à ménager le jeu des dilatactions (fig. 46 et 47). Or ce collecteur était sujet à des variations de température très étendues, car, placé dans un couloir d'arrière où la température de l'air a été trouvée égale à 62°, il servait non seulement comme conduite de vidange, mais aussi, à certains moments, comme conduite d'emplacement des générateurs hors feu, et dans ce cas il recevait l'eau d'un réservoir où la température était 7°. Le couloir d'arrière, dont la largeur était seulement 1 <sup>m</sup> .40, n'avait d'issue qu'à une extrémité, opposée à celle par laquelle on pouvait faire arriver l'eau froide du réservoir dans ce collecteur en cuivre.	trappes d'expansion ont fonctionné, et les fermetures de la boîte à tubes et des portes du foyer ont bien résisté. La chaudière la plus voisine du point d'arrivée de l'eau froide dans le collecteur d'arrière présentant quelques fuites, on avait mis cette chaudière hors feu; après qu'elle fut vidangée, voulant s'assurer de la position des fuites, on la remplit d'eau, ce qui fut fait en partie en envoyant de l'eau froide par le collecteur d'arrière; enfin l'on se mit en devoir de la vider derechef au moyen de ce même collecteur. A ce moment, rupture d'un des deux robinets de vidange appartenant à la chaudière de l'extrémité opposée, au ras du collet de la bride par lequel ce robinet, qui reliait le bouilleur au collecteur en cuivre, était greffé sur le bouilleur. Cette chaudière était en service, et l'eau à haute température jaillit par l'ouverture; l'ouvrier qui se trouvait au fond du couloir dut, pour s'enfuir, traverser le jet brûlant. La cassure du collet de bride était saine, et il a été constaté que les attaches du collecteur, correspondant à plusieurs tubulures similaires de celle qui s'est rompue, avaient subi des déformations notables et de sens divers.	Un ouvrier brûlé mortellement.	la constitution de cette pièce présentait une anomalie. Efforts anormaux dus aux dilatactions et contractions éprouvées par le collecteur en cuivre, dans l'installation duquel aucune précaution n'avait été prise pour ménager, comme la nécessité s'en imposait, le jeu des dilatactions.
29 nov.	Fabrique de charbons pour l'éclaircissement à Nanterre (Seine).	Chaudière horizontale à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire, du type concentrique, avec corps cylindrique supérieur également horizontal. Dans ce type, les gaz chauds, après avoir parcouru le foyer, puis les tubes à fumée, ont un troisième parcours le long du corps cylindrique principal. Surface de chauffe, 68 mètres carrés; capacité, 8 <sup>m</sup> 3.5; timbre, 8 kg.; construction en 1892. Le corps cylindrique principal, de 1 <sup>m</sup> .46 de diamètre (fig. 48) et 4 <sup>m</sup> .20 de longueur, était formé de trois viroles en tôle de 11 millimètres; rivures doubles. La tôle de la demi-virole supérieure d'avant, essayée à la traction après l'accident, a montré une ductilité irrégulière, et à l'analyse chimique des proportions variables de phosphore allant jusqu'à 0,325 p. 100. Les essais de pliage ont accusé un défaut de flexibilité.	En janvier 1890, fuite à la rivure longitudinale de gauche de la virole d'avant du corps cylindrique principal (A de la fig. 48); on fit un matage. Trois jours après, fuite à la jonction de cette virole avec la cornière d'avant; on mate. Le 28 novembre, fuite sur au moins 0 <sup>m</sup> .40 de long, au même endroit qu'en janvier; la chaudière est mise hors feu et vidangée. Le lendemain un chaudronnier, après simple inspection extérieure, exécute un matage, puis on emplit la chaudière, et il mate de nouveau pour aveugler des suintements. On allume alors le feu; peu de temps après que le manomètre eut été vu à 4 kg., explosion du corps cylindrique, dont la virole d'avant s'ouvre le long de la rivure qui avait fui, par une rupture de la tôle supérieure et intérieure, le long de la rangée supérieure de rivets (fig. 49 à 54). La section de rupture montrait, sur plus de 0 <sup>m</sup> .65 de longueur, une cassure ancienne plus ou moins profonde. La tôle portait les empreintes de matages répétés. Le tube s'est aplati à 0 <sup>m</sup> .45 de l'extrémité côté foyer. Le jet de fluides qui a atteint le chauffeur s'est fait jour autour de la porte du gueulard (foyer Ten-Brinck). Ouverture d'un tube de la rangée inférieure, sur 0 <sup>m</sup> .33 de longueur, en forme de boutonnière. L'avarie s'est produite au moment où la chaudière venait d'être mise en pression.	Le chaudronnier, le chef mécanicien de l'usine et deux ouvriers tués sur le coup.	Fissuration développée le long de la rivure de gauche de la virole d'avant du corps cylindrique. Cette fissuration affectait la tôle intérieure de l'assemblage, le long de la ligne de rivets la plus voisine du bord de la tôle extérieure. Elle était en partie ancienne; elle s'est développée dans une tôle de qualité médiocre, sous l'action de matages répétés, effectués à l'extérieur sur la tôle adjacente. Il n'y avait pas, sans danger grave, compatibilité entre la nature de cette tôle et les matages qui ont été appliqués contre elle.
9 déc.	Chemin de fer, près de Montluçon (réseau d'Orléans)	Chaudière locomotive, dans laquelle le tube à fumée qui s'est rompu était un tube en laiton de 0 <sup>m</sup> .048 de diamètre intérieur et 2 <sup>m</sup> .75 d'épaisseur primitive, raboté en cuivre rouge.	Le tube s'est aplati à 0 <sup>m</sup> .45 de l'extrémité côté foyer. Le jet de fluides qui a atteint le chauffeur s'est fait jour autour de la porte du gueulard (foyer Ten-Brinck).	Chauffeur brûlé (trente-deux jours d'incapacité de travail).	L'écrasement du tube paraît avoir été le résultat de son usure.
23 déc.	Hauts-fourneaux, à Marnaval (Haute-Marne).	Chaudière de Naeyer de 82 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 6 kg., construite en 1880. Tubes vaporisateurs de 0 <sup>m</sup> .41 de diamètre.	Ouverture d'un tube de la rangée inférieure, sur 0 <sup>m</sup> .33 de longueur, en forme de boutonnière. L'avarie s'est produite au moment où la chaudière venait d'être mise en pression.	Néant.	Cause non déterminée.



## BULLETIN.

## ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

## ACCIDENTS SURVENUS DANS LES MINES ET CARRIÈRES.

Extrait des rapports du Ministre de l'Intérieur, approuvés par le Président de la République en 1897 (\*).

NOMS, prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées	
			MÉDAILLES en or en argent	MENTIONS honorables
28 avril 1897. TARN.				
BAUGUIL, maître mineur à Carmaux. MARTY, porion à Carmaux. VEDEL (Louis), mineur à Carmaux.	Mines de houille de Carmaux. (5 janvier 1897.)	Sauvetage d'un mineur en danger d'être écrasé sous un éboulement.		Mention honorable Id. Id.
26 mai 1897. PAS-DE-CALAIS.				
DENIS (Hldephonse), chef porion. DUCOLLET (Jules), ouvrier mineur à la Compagnie des mines de Liévin.	Mines de houille de Liévin. (14 novembre 1896.)	Ont fait preuve du plus courageux dévouement en portant secours à un mineur enseveli sous un éboulement. MM. Denis et Ducollet s'étaient déjà signalés dans d'autres circonstances.	2° 2°	

(\* Cet état fait suite à celui qui a été inséré dans le 2° volume de 1896 (p. 670).

NOMS, prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées	
			MÉDAILLES en or en argent	MENTIONS honorables
26 juin 1897. SAONE-ET-LOIRE.				
CHAMBODU (Jean), ouvrier mineur à Montceau-les-Mines. VIEILLARD (Jacques), ouvrier mineur au même lieu. PROVOST (Pierre), ouvrier mineur au même lieu. DUCAROUGE (Benoit), ouvrier mineur au même lieu.	Mines de houille de Blanzv. (6 avril 1897.)	Ont fait preuve du plus courageux dévouement en portant secours aux victimes de l'explosion de grisou du puits Sainte-Eugénie.	2° 2°	Mention honorable Id.
22 septembre 1897. LOIRE.				
GAUCHER (Joannès), boiseur aux mines de la Béraudière. VEYRON (Joseph), boiseur aux mines de la Béraudière. VEYRON (François), boiseur aux mines de la Béraudière. MOULIN (Louis), boiseur aux mines de la Béraudière.	Mines de houille de la Béraudière. (11 mai 1897.)	Ont exposé leur vie pour secourir un homme enseveli sous un éboulement. M. Gaucher s'était précédemment distingué en accomplissant deux sauvetages.	2°	Mention honorable Id. Id.
PAS-DE-CALAIS.				
BLEUZET (Joseph), demeurant à Hénin-Liétard. DENCOURT (François), demeurant au même lieu.	Mines de houille de Douges. (3 avril 1897.)	Ont sauvé un de leurs camarades tombé au fond d'un puits.	2°	Mention honorable
27 octobre 1897. PAS-DE-CALAIS.				
DEGROUX (Pierre), ouvrier phosphatier, demeurant à Hardinghen.	Carrière souterraine sise à Fiennes. (25 août 1897.)	A fait preuve du plus courageux dévouement en descendant dans un puits profond pour porter secours à deux hommes qui y gisaient asphyxiés.	2°	

## STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE EN 1896.

## I. — Charbonnages.

1° *Exploitation.* — La production houillère de la Belgique a été, en 1896, de 21.252.370 tonnes, d'une valeur totale de 202.010.100 francs. Ces résultats, comparés à ceux de 1895 (\*), accusent une augmentation de 794.766 tonnes et 8.652.400 francs.

La valeur moyenne de la tonne a été de 9 fr. 51, 6 centimes de plus que l'année précédente.

L'extraction s'est répartie comme suit entre les districts houillers :

	Tonnes.	Francs.
Hainaut .....	15.491.320	146.119.300
Namur .....	519.830	4.161.400
Liège.....	5.241.220	51.729.700
Totaux .....	21.252.370	202.010.100

L'effectif du personnel ouvrier s'est élevé à 119.246 travailleurs, soit 289 de plus qu'en 1895; en voici la répartition :

		OUVRIERS	
		à l'intérieur	à la surface
Hommes et garçons	au-dessus de 16 ans .....	80.911	21.376
	de 14 à 16 ans.....	4.229	1.524
	de 12 à 14 ans.....	1.552	1.044
Femmes et filles	au-dessus de 21 ans .....	597	1.520
	de 16 à 21 ans.....	291	3.768
	de 14 à 16 ans.....	»	2.434
Totaux.....		87.580	34.666
		119.246	

(\*) Voir, pour la Statistique de 1895, *Annales des Mines*, 2° vol. de 1896, p. 672.

Depuis l'année 1891, qui a précédé celle de la mise en vigueur dans les mines de la loi du 13 décembre 1889 sur le travail, le nombre des femmes et des filles occupées à l'intérieur des travaux a diminué de plus des trois quarts. La catégorie des jeunes filles au-dessous de 16 ans a même entièrement disparu en 1894.

Quant aux enfants au-dessous de 16 ans employés souterrainement, leur nombre s'est réduit du tiers.

La production par ouvrier du fond a été de 243 tonnes, soit 9 tonnes de plus qu'en 1895.

La production par ouvrier du fond et de la surface réunis a été de 178 tonnes, 6 de plus que l'année précédente.

Le montant des salaires s'est élevé, en 1896, à la somme de 146.899.700 francs, ce qui établit le salaire annuel moyen de l'ouvrier, sans distinction de travail ni de sexe, à 980 francs, 32 de plus qu'en 1895. En réalité, si l'on déduit les retenues pour les institutions de prévoyance, certaines consommations et les amendes, ce salaire se réduit à 964 francs, et le salaire journalier moyen, à raison de 299 jours de travail, à 3 fr. 22. Par rapport à l'année précédente, le salaire annuel net s'est accru de 3,3 p. 100, et le salaire journalier de 1,6 p. 100.

Le salaire journalier net de 3 fr. 22 se décompose comme suit :

Ouvriers de la surface.....	2 <sup>f</sup> ,46
Ouvriers du fond.....	3 <sup>f</sup> ,49

— Si l'on distingue les exploitations qui ont présenté des excédents de recettes ou de dépenses, on trouve qu'il y a eu :

81 charbonnages en gain, avec un bénéfice de..	13.344.300 francs
39 — en perte, avec un déficit de...	2.447.300 —
Soit une différence en faveur des recettes de...	10.897.000 francs

2° *Mouvement commercial des combustibles.* — Le mouvement commercial des combustibles en Belgique, durant l'année 1896, se résume dans les chiffres suivants :

	Tonnes	
Production .....	21.252.370	
Importation ..	2.048.890	
{ Houille.....		1.693.376
{ Briquettes.....		1.561
{ Coke.....	260.273	
Exportation ...	6.237.907	
{ Houille.....		4.649.799
{ Briquettes.....		459.974
{ Coke.....	863.067	
Consommation.....	17.063.353	

Le coke a été exprimé en houille, dans le total de l'importation, de l'exportation et de la consommation, à raison d'un rendement en coke de 73,5 p. 100 de houille.

Quant aux briquettes, il a été compté 96 kilogrammes de houille pour 100 kilogrammes d'agglomérés.

## II. — Mines métalliques et minières.

La production des mines métalliques et des minières de la Belgique, en 1896, a été la suivante :

	Tonnes.	Francs.
Minerais de fer.....	307.031	valant 1.417.820
Minerais de plomb.....	70	8.050
Minerais de zinc.....	11.630	601.250
Pyrite.....	2.560	26.850
Minerais de manganèse.....	23.265	345.020

Représentant une valeur totale de ..... 2.398.990

Cette valeur est supérieure de 6.370 francs à celle de l'année précédente.

L'effectif du personnel ouvrier a été de 2.017 individus, ne comprenant ni femmes, ni filles, ni garçons au-dessous de 16 ans.

Des 8 mines concédées en activité (non compris les minières), 2 ont réalisé un bénéfice global de 206.000 francs, et 6 ont perdu ensemble 33.800 francs. Le bénéfice général s'est donc élevé à 172.200 francs.

## III. — Carrières.

Le tableau ci-dessous indique, pour l'année 1896, les quantités et les valeurs des produits extraits des carrières belges :

	QUANTITÉS.	VALEURS.
Pierres de taille.....	152.420 m. cubes.	13.711.500 fr.
Poudingue.....	160 m. cubes.	20.000
Chaux, moellons et pierrailles...	2.646.305 m. cubes.	10.717.500
Pierres à paver.....	102.295.950 pièces.	8.968.600
Dalles et carreaux.....	131.400 m. carrés.	458.600
Marbre.....	16.315 m. cubes.	2.723.400
Ardoises.....	35.980.000 pièces.	1.322.500
	1.150 m. cubes.	25.000
Pierres à faux et à rasoir.....	45.850 pièces.	34.100
<i>A reporter.....</i>		<i>37.981.200 fr.</i>

	Report.....	37.981.200 fr.
Castine.....	164.900 m. cubes.	376.800
Dolomie.....	21.500 m. cubes.	36.000
Terre à porcelaine.....	130.960 m. cubes.	1.067.800
Terre plastique.....	83.020 tonnes.	422.500
Marne et craie.....	191.100 m. cubes.	332.000
Sable.....	418.720 m. cubes.	814.800
Silex pour faïencerie.....	23.450 m. cubes.	95.800
Silex, gravier et pierrailles pour empiècement.....	244.050 m. cubes.	615.700
Terres ocreuses et autres pour couleurs.....	700 m. cubes.	14.000
Sulfate de baryte.....	25.000 tonnes.	175.000
Feldspath.....	2.000 m. cubes.	16.000
Phosphate de chaux.....	18.360 m. cubes.	192.400
Craie phosphatée.....	279.110 m. cubes.	2.494.200

Représentant une valeur totale de ..... 44.634.200 fr.

Il y a accroissement de la valeur produite dans toutes les provinces et pour la plupart des substances.

On doit signaler toutefois l'état de souffrance de l'industrie des phosphates.

Il y a eu 1.560 carrières en exploitation, comprenant dans leur ensemble 1.208 sièges à ciel ouvert et 624 sièges souterrains, et occupant 32.601 ouvriers.

La province d'Anvers et les deux Flandres ne sont pas comprises dans le tableau ci-dessus. Elles ne fournissent d'ailleurs que des argiles *tertiaires* servant à la fabrication des briques, carreaux et tuiles, ainsi que des sables de même formation, employés, entre autres usages, à la fabrication du verre.

## IV. — Métallurgie.

Les usines métallurgiques sont réparties en cinq groupes :

### 1° Hauts-fourneaux.

Nombre d'usines (actives).....	17
Nombre de hauts-fourneaux (actifs).....	34
Nombre d'ouvriers.....	3.305
Production en fonte.....	959.414 tonnes.
Valeur de la production.....	51.580.900 francs.
Prix moyen de la tonne.....	53,76

## 2° Usines à fer.

Nombre d'usines (actives).....	49
Nombre de fours à puddler (actifs).....	357
— à réchauffer (id.).....	151
— autres (id.).....	242
Nombre d'ouvriers.....	14.321
Production en fers finis.....	494.032 tonnes.
Valeur de la production.....	64.004.640 francs.
Prix moyen de la tonne.....	129 <sup>f</sup> ,55

## 3° Aciéries.

Nombre d'usines (actives).....	12
Nombre de fours Martin (actifs).....	9
Nombre de convertisseurs (actifs).....	16
Nombre de fours à réchauffer (actifs)...	47
Nombre d'ouvriers.....	5.382
Production en acier (produits finis).....	519.311 tonnes.
Valeur de la production.....	63.129.200 francs.
Prix moyen de la tonne.....	121 <sup>f</sup> ,56

## 4° Usines à zinc.

Nombre d'usines (actives).....	12
Nombre de fours (actifs).....	380
Nombre d'ouvriers.....	4.970
Production en zinc brut.....	113.361 tonnes.
Valeur de la production.....	45.912.200 francs.
Prix moyen de la tonne.....	405 francs.

## 5° Usines à plomb et à argent.

Nombre d'usines (actives).....	3
Nombre de fours à manche (actifs).....	18
— à réverbère (id.).....	4
— de coupelle (id.).....	4
Nombre d'ouvriers.....	727
Production.....	{ Plomb brut..... 17.222 tonnes.
	{ Argent..... 28.509 kilog.
Valeur de la pro-duction.....	{ Plomb brut..... 5.149.900 francs.
	{ Argent..... 3.189.500 francs.
	{ de la tonne de plomb
Prix moyen....	{ brut..... 299 <sup>f</sup> ,03
	{ du kilogramme d'argent..... 111 <sup>f</sup> ,87

## V. — Accidents.

Les accidents survenus dans le courant de l'année 1896 se répartissent comme suit :

	CHARBON- NAGES	MINES métal- liques et minières	CARRIÈRES souter- raines	USINES métallur- giques	TOTAL
Nombre d'accidents.	288	0	5	36	329
Morts.....	136	0	4	19	159
Blessés grièvement.	164	0	1	17	182

Le nombre des ouvriers occupés dans les charbonnages ayant été (fond et surface réunis) de 119.246, la proportion des ouvriers tués, afférente à l'industrie houillère, a été de 1,14 par 1.000 travailleurs. Elle avait été de 1,44 l'année précédente.

La classification par *causes* des accidents survenus dans les houillères est donnée dans le tableau suivant :

		NOMBRE des			
		Accidents	Tués	Blessés	
<b>I. — Intérieur des travaux.</b>					
Accidents survenus dans les puits et dans les descenderies conduisant aux travaux souterrains.	A l'occasion du transport des ouvriers	Par câbles, cages, etc. ....	8	5	3
		Par échelles .....	»	»	»
		Par fahrkunst .....	»	»	»
		Par éboulements, chutes de pierres et corps durs .....	1	»	1
	Dans d'autres circonstances .....	7	3	4	
Accidents survenus dans les puits intérieurs et les cheminées d'exploitation .....	Par l'emploi	des câbles .....	1	1	»
		des échelles .....	»	»	»
	Dans d'autres circonstances .....	3	2	1	
Éboulements (y compris chutes de pierres et blocs de houille, etc.) dans les chantiers et les voies .....			116	63	57
Accidents causés par le grison.	Dégagement normal.	Inflam- mations dues			
		aux coups de mines .....	1	»	1
		aux appareils d'éclairage .....	»	»	»
		à des causes diverses ou inconnues .....	»	»	»
	Asphyxies .....	2	3	»	
	Irruptions subites suivies				
d'inflammation .....	»	»	»		
d'asphyxies, de projections de charbon ou de pierres, etc. ....		3	8	»	
Asphyxies par d'autres gaz que le grison .....		1	1	»	
Coups d'eau .....			»	»	
Emploi des explosifs .....	Tirage des mines	Autres causes .....	8	2	8
			»	»	»
Transport et circulation des ouvriers .....	Sur voies de niveau ou peu inclinées.	Sur voies inclinées, hommes et chevaux .....	32	14	18
		où le transport s'effectue par treuils ou poulies .....	4	1	3
		ou s'effectue par traction mécanique .....	40	11	29
Causes diverses .....			28	7	21
Total .....			255	121	146
<b>II. — Surface.</b>					
Chutes dans les puits .....			1	1	»
Manœuvres de véhicules .....			13	5	8
Machines et appareils mécaniques .....			6	2	4
Causes diverses .....			13	7	6
Total .....			33	15	18
Total général .....			288	136	164

(Extrait de la *Statistique des mines, minières, carrières, usines métallurgiques et appareils à vapeur* du Royaume de Belgique, pour l'année 1896, par M. E. HARZÉ.)

## BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1897 (\*).

## OUVRAGES FRANÇAIS.

1<sup>o</sup> *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BOUSSINESQ (J.). — Théorie de l'écoulement tourbillonnant et tumultueux des liquides dans les lits rectilignes à grande section. Second mémoire : Etude des régimes graduellement variés. In-4<sup>o</sup>, 76 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 3 fr. (12574)
- BURALI-FORTI (C.). — Introduction à la géométrie différentielle, suivant la méthode de H. Grassmann. In-8<sup>o</sup>, xi-166 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10574)
- CALINON (A.). — Étude sur les diverses grandeurs en mathématiques. In-8<sup>o</sup>, 31 p. avec fig. Paris, Berger-Levrault et C<sup>ie</sup>; Gauthier-Villars et fils. 2 fr. (13025)
- CAUCHY (A.). — Œuvres complètes d'Augustin Cauchy, publiées sous la direction scientifique de l'Académie des Sciences et sous les auspices de M. le ministre de l'Instruction publique. 2<sup>e</sup> série, t. III. In-4<sup>o</sup>, 476 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 25 fr. (7718)
- — — 1<sup>re</sup> série, t. X. In-4<sup>o</sup>, 492 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 25 fr. (12365)
- DESAINT (L.). — Sur quelques points de la théorie des fonctions (thèse). In-4<sup>o</sup>, 79 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12594)

(\*) Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

- DUPORT (H.). — Mémoire sur les lois fondamentales de la mécanique. In-8°, 26 p. Dijon, imp. Darantière (Extr. de la *Revue bourguignonne de l'enseignement supérieur*). (9284)
- FÉRAUD (A.). — Sur la valeur approchée des coefficients d'ordre élevé dans les développements en séries (thèse). In-4°, 205 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8236)
- GALOIS (E.). — Œuvres mathématiques d'Evariste Galois, publiées sous les auspices de la Société mathématique de France. Avec une introduction par M. *Émile Picard*, membre de l'Institut. In-8°, x-64 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 3 fr. (8033)
- JAMET (V.). — Sur la division des polynômes entiers. In-4°, 11 p. Marseille, impr. Barlatier. (11112)
- LAGUERRE. — Œuvres de Laguerre, publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences par MM. *Ch. Hermite*, *H. Poincaré* et *E. Rouché*, de l'Institut. T. I : Algèbre; Calcul intégral. In-8°, xv-472 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 15 fr. (12464)
- LEAU (L.). — Étude sur les équations fonctionnelles à une ou à plusieurs variables (thèse). In-4°, 148 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8279)
- LEBOEUR (A.). — Sur une nouvelle démonstration des polynômes Hansen-Tisserand. Applications. 2° Tables pour le calcul des perturbations de Jupiter sur les petites planètes (thèse). In-4°, 94 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8280)
- MEYER (W.-F.). — Sur les progrès de la théorie des invariants projectifs; par *W.-Fr. Meyer*, professeur à l'École royale des mines de Clausthal (Hanovre). Traduit et annoté par *H. Fehr*, privat-docent à l'Université de Genève, avec une préface de *Maurice d'Ocagne*, professeur à l'École des ponts et chaussées. In-8°, x-426 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 4 fr. (7628)
- PETERSEN (J.). — Théorie des équations algébriques; par *Julius Petersen*, professeur à l'Université de Copenhague, membre de l'Académie royale des Sciences. Traduction par *H. Laurent*, examinateur d'admission à l'École polytechnique de Paris. In-8°, xv-350 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 10 fr. (7644)
- PICARD (E.) et G. SIMART. — Théorie des fonctions algébriques de deux variables indépendantes. T. I. In-8°, vi-247 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10694)
- REBIÈRE (A.). — Mathématiques et Mathématiciens. Pensées et Curiosités, recueillies par *A. Rebière*. 3° édition, améliorée. In-8°, 570 p. Paris, Nony et C<sup>ie</sup>. (10706)
- RICHARD (J.). — Leçons sur les méthodes de la géométrie moderne. Paris. In-8°, 240 p. 6 fr.

- SUCHAR (P.-I.). — Sur le problème général de l'inversion et sur une classe de fonctions qui se ramènent à des fonctions à multiplicateurs (thèse). In-4°, 54 p. Evreux, impr. Hérissey. (8874)
- THYBAUT (A.). — Sur la déformation du parabolôide et sur quelques problèmes qui s'y rattachent (thèse). In-4°, 59 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8329)

## 2° Physique et Chimie.

- ANDRADE (I.). — Leçons de mécanique physique. Paris. In-8°, 10 fr.
- ARMAGNAT (H.). — Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles. Paris. In-8°, 588 p. 2 fr.
- ARNO (R.). — Phasemètre des tangentes. In-4° à 2 col., 3 p. avec fig. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (12760)
- BECH (M.). — Étude expérimentale sur l'électromagnétisme, renversant toutes les idées actuellement admises sur cette science. In-8°, 62 p. avec fig. Paris, P. Rivot. 5 fr. (13250)
- Théorie moléculaire du récepteur Bell. In-8°, 40 p. avec fig. Paris, Chéron. 5 fr. (13251)
- BÉHAL (A.). — Traité de chimie organique, d'après les théories modernes. Précédé d'une préface de M. *Ch. Friedel*, de l'Institut. T. II. In-8°, 1.060 p. Paris, Doin (Complet en 2 volumes, 32 fr.). (7332)
- BERTHELOT. — Thermochimie. Données et Lois numériques, 2 vol. In-8°. T. I, Les lois numériques, xvii-738 p.; t. II, Les données expérimentales, 888 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 50 fr. (7941)
- BLONDEL (A.). — Sur le phénomène de l'arc électrique. In-8°, 8 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (13513)
- BOULGAKOFF (N.). — La Distribution électrique sur la surface d'un anneau. In-4° à 2 col., 19 p. avec fig. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (12773)
- BOUTY (E.). — Les Flammes chantantes et les Flaumes sensibles. In-8°, 44 p. Paris, l'auteur. (10779)
- BRETON (J.-L.). — Rayons cathodiques et Rayons X. In-4°, 119 p. avec 150 fig. Frémont. Paris, Revue scientifique et industrielle de l'année; Bernard et C<sup>ie</sup>. 4 fr. (7343)
- BROCA (A.). — Galvanomètre absolument astatique et à grande

- sensibilité. In-8°, 8 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (9173)
- BRUNHES (B.). — Absorption du son et Conductibilité calorifique. In-8°, 8 p. Tours, imp. Deslis frères (Extr. du même recueil). (10344)
- BRYLINSKI (E.). — Sur la résistance des conducteurs en courant variable. In-4° à 2 col., 31 p. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (10044)
- Sur les unités magnétiques. In-4° à 2 col., 15 p. avec fig. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. du même recueil). (12777)
- CAMICHEL (C.). — Ampèremètre thermique à mercure. In-4° à 2 col., 8 p. avec fig. Paris, Carré et Naud (Extr. du même recueil). (11282)
- CHANCEL (F.). — Contribution à l'étude des propylamines normales et de leurs dérivés. In-4°, 100 p. et planches. Marseille, impr. Barthelet et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales de la Faculté des sciences de Marseille*). (7155)
- CRÉCHET (C.). — L'énergie électrique. Paris. In-8°, VIII-334 p. 6 fr.
- DECHARME (C.). — Sur l'équivalence dans les sciences physiques. In-8°, 81 p. et planches. Angers, impr. Germain et Grassin (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers*). (9249)
- Deuxième supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée d'Ad. Wurtz, publié sous la direction de Ch. Friedel, professeur à la Faculté des sciences de Paris, avec la collaboration de MM. P. Adam, A. Béhal, G. de Bechi, A. Bigot, L. Bourgeois, L. Bouveault, E. Burcker, C. Chabrié, P.-T. Cleve, Ch. Cloëz, A. Combes, C. Combes, A. Etard, Ad. Fauconnier, H. Gall, A. Gautier, H. Gautier, E. Grimaux, G. Griner, etc. T. IV. Fascicule 32. In-8° à 2 col., p. 81 à 160. Paris, Hachette et C<sup>ie</sup>. 2 fr. (10075)
- DUFAU (L.-E.-R.). — Sur quelques oxydes doubles cristallisés obtenus à haute température (thèse). In-4°, 36 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8230)
- DUHEM (P.). — Traité élémentaire de mécanique chimique fondée sur la thermodynamique. T. II. Vaporisation et Modifications analogues; Continuité entre l'état liquide et l'état gazeux; Dissociation des gaz parfaits. In-8°, 378 p. Paris, Hermann. (11065)
- DUPOUY (J.-R.). — Étude des propriétés oxydantes de certains faits et Remarques sur l'emploi de la résine de gaiac comme réactif des agents d'oxydation (thèse). In-8°, 74 p. Bordeaux, impr. Gounouilhou. (10617)
- DUSSAUD (F.). — Combinaison des corps solides par le choc et la

- pression par MM. F. Dussaud et Georges-F. Jaubert, conférence faite à la Sorbonne, le 26 avril 1897. In-4°, 11 p. avec fig. Paris, Carré et Naud (Extr. des *Actualités chimiques*). (11325)
- Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Fremy, de l'Institut. T. IV. Analyse chimique. Méthodes analytiques appliquées aux substances agricoles, par M. A. Müntz, professeur chargé de la direction des laboratoires à l'Institut agronomique. In-8°, 599 p. avec fig. Paris, V<sup>o</sup> Dunod. 25 fr. (6482)
- T. IX : Chimie organique. 2<sup>e</sup> section : Chimie physiologique. 2<sup>e</sup> fascicule : Chimie des liquides et des tissus de l'organisme (troisième partie, II); par le docteur *Lambling*, professeur à la Faculté de médecine de Lille. In-8°, p. 407 à 552. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup>. 7,50. (8232)
- ETARD (A.). — Les nouvelles Théories chimiques. In-16, 196 p. avec fig. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>; Gauthier-Villars et fils. 2,50. (9864)
- FLEMING (J.-A.). — Le Laboratoire d'électricité. Notes et Formules, par le docteur *J.-A. Fleming*, de l'University College de Londres. Traduit de l'anglais sur la 2<sup>e</sup> édition et augmenté d'un appendice, par *J.-L. Routin*, ancien élève de l'École polytechnique. In-8°, VI-152 p. avec fig. et planches. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11337)
- GILBAULT (H.). — Recherches sur la compressibilité des dissolutions (thèse). In-4°, 71 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8249)
- GUINCHANT (J.). — Étude sur la fonction acide dans les dérivés méthéniques et méthiniques (thèse). In-8°, 190 p. Caen, Delesques. (6857)
- HOULLEVIGUE (L.). — Sur le résidu électrique des condensateurs. In-8°, 45 p. avec fig. Paris, Masson et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales de l'Université de Lyon*). (8048)
- Étude expérimentale du fer électrolytique. In-8°, 8 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (9332)
- JAGNAUX (R.). — Analyse chimique des substances commerciales, minérales et organiques. 2<sup>e</sup> édition, revue, corrigée et considérablement augmentée. In-8°, II-1.094 p. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (8725)
- LESPIEAU (R.). — Recherches sur les épibromhydrines et les composés propargyliques (thèse). In-8°, 63 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8287)

- MACÉ DE LÉPINAY (J.). — Sur une nouvelle détermination de la masse du décimètre cube d'eau distillée privée d'air à son maximum de densité. In-8°, 16 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (7233)
- Sur une nouvelle détermination du kilogramme. In-8°, 41 p. avec fig. Marseille, impr. Barlatier (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*). (44857)
- MALAGOLI (R.). — Sur le décalage de phase produit par un polarisateur introduit dans un circuit à courant alternatif. In-8° à 2 col., 15 p. avec grav. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (9924)
- Sur le changement des unités fondamentales dans les systèmes absolus de mesure. In-4° à 2 col., 4 p. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. du même recueil). (10152)
- MARQFOY (G.). — La loi des équivalents. Réponse à M. Grimaux, de l'Institut. In-8°, 13 p. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. des *Actualités chimiques*). (12874)
- MAUMENÉ (E.-J.). — Chimie vraie. Application rigoureuse des deux lois générales de l'action chimique. In-8°, xi-205 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup>. (9025)
- MENDEZ (E.). — De la forme elliptique des courbes isobares dans les remous atmosphériques; Cause de cette forme. Un élément pour la prévision du temps. In-8°, 19 p. Pau, V<sup>e</sup> Ribaut (Extr. du *Bull. de la Soc. des sciences, lettres et arts de Pau*). (43683)
- MONNET (E.). — Sur l'étude calorimétrique complète d'un sel (thèse). In-8°, 103 p. Bordeaux, impr. Gounouillou. (6950)
- MOSNIER (A.). — Sur quelques combinaisons de l'iodure de plomb avec d'autres iodures métalliques et organiques (thèse). In-4°, 59 pages. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8296)
- NICLOUX. — Dosage de petites quantités d'alcool méthylique, d'aldéhyde formique, d'acide formique et de glucose. In-8°, 4 p. Paris, Impr. nationale (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. nat.*). (10897)
- Notice sur le titrage chlorométrique du chlorozone. In-8°, 21 p. Lille, établissement Kuhlmann. (14656)
- OTTO (M.). — Recherches sur l'ozone (thèse). In-4°, 149 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8300)
- PELLAT (H.). — Electrostatique non fondée sur les lois de Coulomb. Forces agissant sur un diélectrique non électrisé. In-8°, 32 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (7260)
- PERDRIX (L.). — Contribution à l'étude de l'oxydation des com-

- posés organiques, par le permanganate de potasse. In-4°, 40 p. Marseille, impr. Barthelet et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales de la Faculté des sciences de Marseille*). (6991)
- PERRIN (J.). — Rayons cathodiques et Rayons de Röntgen (thèse). In-8°, vi-64 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8303)
- QUESNEVILLE (G.). — De la double réfraction elliptique et de la tétraréfringence du quartz dans le voisinage de l'axe. II : Théorie nouvelle; Recherches expérimentales. In-8°, p. 127 à 238 avec fig. Paris, bureaux du *Moniteur scientifique*. (8555)
- RIGOLLOT (H.). — Recherches expérimentales sur quelques actinomètres électrochimiques. In-8°, 138 p. Paris, Masson et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales de l'Université de Lyon*). (8565)
- RIVALS (P.). — Recherches thermochimiques sur quelques composés chlorés des séries acétique, benzoïque et salicylique (thèse). In-8°, 78 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8309)
- SCHENTJES (H.). — Cours de physique expérimentale de l'Université de Gand. Paris. In-8°, 224 p. 6 fr.
- SENTIS (H.). — Tension superficielle de l'eau et des solutions salines (thèse). In-4°, 85 p. et tableau. Grenoble, impr. Allier père et fils. (6363)
- TURPAIN (A.). — Sur les expériences de Hertz. In-8°, 12 p. et pl. La Rochelle, impr. Texier (Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux). (42959)
- VASCHY (A.). — Etude des propriétés expérimentales des diverses énergies. Lignes électriques artificielles. In-8°, 51 p. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (43215)

3<sup>e</sup> Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.

- ARNAUD (P.). — Essai historique sur la constitution géologique de la Crau et de la Camargue. In-8°, 22 p. Digne, impr. Chaspoul et V<sup>e</sup> Barbaroux (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. et litt. des Basses-Alpes*). (10295)
- BOULAY (N.). — Les Origines de l'espèce humaine. In-8°, 38 p. Arras et Paris, Sueur-Charruey (Extr. de la *Revue de Lille*). (6435)
- BRIVES (A.). — Les Terrains tertiaires du bassin du Chéelif et du Dahra (thèse). In-4°, 137 p. avec cartes et planches. Alger, impr. Fontana (*Matér. pour la carte géol. de l'Algérie*). (10783)
- Matériaux pour la carte géologique de l'Algérie. 1<sup>re</sup> série : Paléontologie. Monographies. N<sup>o</sup> 3 : Fossiles miocènes (pre-

- mière partie). In-4°, 38 p. et 5 pl. Alger, impr. Fontana et C<sup>ie</sup>.  
(11753)
- Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80.000.  
Cholet. 6 fr. Avec notice explicative. Paris, impr. Lemercier  
et C<sup>ie</sup>. (1067)
- Lille. 3 fr. — Saint-Brieuc. 6 fr. — Le Buis. 6 fr. — Rouen.  
6 fr. — Tulle. 6 fr. — Strasbourg. 3 fr. Avec notices explica-  
tives. Paris, impr. Erhard frères. (1068)
- Feuille 104 : Saint-Nazaire. 6 fr. Avec notice explicative.  
Paris, impr. Erhard frères. (1344)
- Feuille 231 : Castres. 6 fr. Avec notice explicative. Paris,  
impr. Lemercier et C<sup>ie</sup>. (1374)
- Carte géologique de la France à l'échelle de 1/320.000. Feuille 9 :  
Mézières. 6 fr. — Feuille 33 : Corse. 3 fr. Paris, impr. du Dépôt  
de la Guerre. (1092)
- CHANEL (L.). — Dictionnaire de géologie (étymologie, paléontolo-  
gie, minéralogie), à l'usage des élèves des lycées et collèges,  
des écoles normales primaires, des écoles primaires supérieures,  
des écoles professionnelles, etc. In-8°, 267 p. Bourg, Mont-  
barbon. (10797)
- CHAUVET (G.). — Stations humaines quaternaires de la Charente.  
N° 1 : Bibliographie et Statistique ; Fouilles au Ménéieux et à la  
Quina. In-8°, 143 p. Angoulême, Coquemard (Extr. du *Bull. de  
la Soc. archéol. et histor. de la Charente*). (8642)
- Documents à consulter pour la détermination des minéraux.  
In-8°, 27 pages. Besançon, impr. Jacquin. (9271)
- GENTIL (L.). — Sur le gisement de nadorite d'Algérie. In-8°, 2 p.  
Paris, Impr. nat. (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. nat.*). (10843)
- HAMY (E.-T.). — L'âge de pierre au Gabon. In-8°, 3 p. avec fig.  
Paris, Impr. nationale (Extr. du même recueil). (8260)
- HÉRIBAUD (J.). — Recherches sur les Diatomées des calcaires  
tertiaires de l'Auvergne et sur l'origine de ces terrains. In-8°,  
12 p. Moulins, impr. Auclair (Extr. de la *Revue scient. du  
Bourbonnais et du Centre de la France*). (6231)
- KILIAN (W.) et J. RÉVIL. — Étude orographique sur les Alpes de  
la Basse-Maurienne et quelques massifs adjacents. In-8°, 138 p.  
et 1 carte au 200.000°. Grenoble, impr. Allier frères. (13655)
- LAPPARENT (A. DE). — Notions générales sur l'écorce terrestre.  
In-16, 156 p. avec 33 fig. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>. (12841)
- MEUNIER (E.). — Étude géologique, historique et commerciale sur  
la houille du bassin franco-belge. In-8°, 77 p. Lille, impr. Lié-  
geois-Six. (9429)

- MEUNIER (S.). — Nos terrains. 24 pl. en couleurs hors texte,  
aquarelles d'après nature, par P. Gusman et Jacquemin.  
260 figures noires dessinées par Jacquemin. 260 figures noires  
dessinées par René-Victor Meunier et Bidault. Livraisons  
3 à 13. In-8°, p. xvii à xx et 1 à 84. Paris, Colin et C<sup>ie</sup>. 0<sup>e</sup>,80  
la livraison. L'ouvrage sera complet en 25 livraisons.  
(6361-12642)
- Revision des pierres météoriques de la collection du Muséum  
d'histoire naturelle de Paris. In-8°, 122 p. avec fig. Autun,  
impr. Dejussieu (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun*).  
(7835)
- Progrès récents de la méthode géologique expérimentale.  
Gr. in-8°, 27 p. avec fig. Paris, l'auteur (Extr. de la *Revue géné-  
rale internat. scient., litt. et artistique*). (9030)
- MORGAN (J. DE). — Recherches sur les origines de l'Égypte. L'Age  
de pierre et les Métaux. In-8°, 282 p. avec fig. et 11 pl. Paris,  
Leroux. (13697)
- MORIO (E.). — Histoire géologique de l'eau. In-8°, 27 p. Vannes,  
impr. Galles. (10478)
- NICOLAS (H.). — Étude sur les terrains tertiaires des environs  
d'Avignon. Le Miocène. In-8°, 98 p. Avignon, F. Seguin. (12887)
- PELLAT (E.). — Observations sur le terrain miocène des environs  
d'Avignon, à l'occasion d'un mémoire récent du tome XVI des  
*Publications de l'Académie de Vaucluse*. Lettre de M. Ed. Pellat,  
membre et ancien président de la Société géologique de France,  
à M. le Président de l'Académie de Vaucluse. In-8°, 8 p. avec  
fig. Avignon, Seguin. (13717)
- POMEL (A.). — Carte géologique de l'Algérie. Paléontologie.  
Monographies. Les Carnassiers. In-4°, 42 p. et 15 pl. Alger,  
impr. Fontana et C<sup>ie</sup>. (6331)
- Paléontologie. Monographies. Les Suiliens ; Porciens. In-4°,  
39 p. et 10 pl. Alger, impr. Fontana et C<sup>ie</sup>. (6332)
- Paléontologie. Monographies. Singe et Homme. In-4°,  
34 p. et 8 pl. Alger, impr. Fontana et C<sup>ie</sup>. (11663)
- RENAULT (B.). — Houille et Bactériacées. In-8°, 30 p. et planche.  
Autun, impr. Dejussieu (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat.  
d'Autun*). (7868)
- RISLER (E.). — Géologie agricole. Première partie du cours d'agri-  
culture comparée fait à l'Institut national agronomique, par  
E. Risler, directeur. T. IV et dernier. In-8°, 419 p. et pl.  
Paris, Berger-Levrault et C<sup>ie</sup> ; Librairie agricole. (8566)
- ROMAN (F.). — Recherches stratigraphiques et paléontologiques

- dans le Bas Languedoc. In-8°, 370 p. avec fig. et 9 pl. Paris, Masson et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales de l'Université de Lyon*). (12104)
- Suess (E.). — La Face de la Terre (das Antlitz der Erde); par Ed. Suess, professeur de géologie à l'Université de Vienne (Autriche), correspondant de l'Institut de France. Traduit, avec l'autorisation de l'auteur, et annoté sous la direction d'Emmanuel de Margerie, avec une préface par Marcel Bertrand, de l'Académie des Sciences. T. I, avec 2 cartes en coul. et 122 fig., dont 76 exécutées spécialement pour l'édition française. 1<sup>er</sup> fascicule. In-8°, xv-208 p. Paris, Colin et C<sup>ie</sup>. 3 fr. (Un fascicule par mois. Le t. I sera complet en 4 fascicules.) T. I complet, xv-835 p. avec 2 cartes en couleur et 122 fig. (12300)
- TORCAPEL et ZACHAREWICZ. — Notice explicative de la carte agronomique de la commune de Morières. In-8°, 20 p. Avignon, Seguin. (7067)
- VENTRE (C.-C.). — Poème géologique. Le Terrain urgonien. In-8°, 7 p. Marseille, impr. Creissard. (12145)
- ZUMOFFEN (G.). — L'Age de la pierre en Phénicie. In-8°, 24 p. avec grav. Paris, Masson et C<sup>ie</sup> (Extr. de l'*Anthropologie*). (13799)
- 4<sup>o</sup> Mécanique appliquée et Machines.
- BOBET (R.). — Note sur le calcul et l'emploi des courroies en caoutchouc. In-16, 31 p. Paris, Tignol. (9572)
- COUPIER (L.). — Note sur les clapets automatiques d'arrêts à vapeur. Valve-clapet, système Groignard. In-8°, 8 p. avec fig. Marseille, impr. Barlatier (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*). (11548)
- FARMAN (M.). — Manuel du conducteur-chauffeur d'automobiles. In-16, 188 p. avec fig. Paris, Tignol. (8235)
- GODARD. — Les nouveaux générateurs Belleville. Gr. in-8°, 11 p. et 5 pl. Paris, Chaix (Extr. du *Bull. de l'Assoc. technique maritime*). (11086)
- GUYENET et DE MOCOMBLE. — Exposition universelle de 1900. Plate-forme électrique à deux vitesses pour le transport des voyageurs à l'intérieur de l'Exposition, système Blot, Guyenet et de Mocomble. Exposé technique. In-4°, 55 p. Paris, impr. Mangeot. (7195)

- HIRSCH (J.) et A. DEBIZE. — Leçons sur les machines à vapeur. T. I. 2<sup>e</sup> fascicule. In-8°, p. 497 à 1088, avec fig. et atlas in-f<sup>o</sup> (pl. 8 à 17). Paris, V<sup>e</sup> Dunod. (6235)
- MONTCHOISY (DE). — Compléments au cours pratique et théorique des machines à vapeur, professé à l'École supérieure de maistrance de la marine. Appareils à vapeur nouveaux; Machines à détente fractionnée; Générateurs à haute pression. In-8°, 11-220 p. Paris, Challamel. (6571)
- Note sur un moteur rotatif à vapeur de 25 chevaux à triple expansion et à changement de marche, système Filtz. In-8°, 12 p. avec fig. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (10184)
- POILLON (E.). — Grille à lames de persiennes, système Ed. Poillon, applicable à tous les foyers de chaudières et de fours pour brûler tous les combustibles, et particulièrement les poussières et menus. In-8°, 12 p. et pl. Amiens, impr. Jeunet. (12916)
- RATEAU. — Appareils servant à mesurer l'humidité d'une vapeur. In-8°, 23 p. avec fig. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales des Mines*). (8558)
- SCHMIDT (E.). — Note sur un procédé de vidange à froid des générateurs supprimant les incrustations. In-8°, 24 p. avec fig. Amiens, impr. T. Jeunet (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle d'Amiens*). (12693)
- SOREAU (R.). — Le problème général de la navigation aérienne. In-8°, 76 p. avec fig. Paris, 19, rue Blanche (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils de France*). (10726)
- VERMAND (P.). — Les Moteurs à gaz et à pétrole. 2<sup>e</sup> édition. In-16, 180 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; Masson et C<sup>ie</sup>. 2f,50. (12964)
- WALCKENAER (C.). — Accidents causés par des ruptures de tubes à fumée de 1888 à 1896. In-8°, 28 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales des Mines*). (9776)
- Remarques et Expériences à l'occasion d'un manque d'eau dans un générateur de vapeur. In-8°, 20 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. du même recueil). (12969)
- 5<sup>o</sup> Applications industrielles de la physique et de la chimie. —  
Métallurgie.
- BECKER (H.). — Manuel d'électrochimie et d'électrometallurgie. Applications électrochimiques et électrothermiques. In-18 Jésus, 521 p. avec 140 fig. et 2 pl. Paris, Fritsch. (13253)

- CADIAT (E.). — Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques. 3<sup>e</sup> édition. In-18 Jésus, vi-542 p. avec fig. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (10575)
- CAMPREDON (L.). — Essais des minerais par la voie sèche. In-16, 135 p. Paris, impr. Fayolle. (11526)
- Guide pratique du chimiste métallurgiste et de l'essayeur. Description des procédés suivis pour l'échantillonnage et l'analyse chimique des combustibles, des gaz, des matériaux réfractaires, des eaux industrielles, des minerais, métaux, etc. In-8<sup>o</sup>, iv-888 p. avec fig. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (13564)
- CHOMIENNE (C.). — Fabrication de l'acier et Procédés de forgeage de diverses pièces. In-8<sup>o</sup>, 232 p. avec fig. et 33 pl. Paris, Bernard et C<sup>ie</sup>. 10 fr. (Extr. du *Bulletin technol. de la Soc. des anciens élèves des Écoles nat. d'arts et métiers*). (11032)
- COSTA (J.). — Traction électrique des tramways par accumulateurs avec récupération. In-8<sup>o</sup>, 11 p. avec fig. Marseille, impr. Barthelet (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. de Marseille*). (10387)
- CRÉCHET (C.). — L'Énergie électrique. Notions élémentaires d'électricité industrielle. Phénomènes et Principes généraux; Production de l'électricité. In-8<sup>o</sup>, viii-334 p. avec 226 grav. Paris, Tignol. 6 fr. (8954)
- DEFRANCE (C.). — Extraction du cuivre, de l'argent et de l'or par la voie humide. Gr. in-16, ii-218 p. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (9608)
- DEPREZ (M.). — Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique. 2<sup>e</sup> fascicule: Électro-Cinétique; Électro-Magnétisme; Électro-Dynamique; Induction électro-magnétique. In-8<sup>o</sup>, p. 369 à 806, avec fig. Paris, 17, rue des Bernardins. 12 fr. (12799)
- Désargement électrolytique des plombs argentifères, par le procédé du D<sup>r</sup> D. Tommasi. In-8<sup>o</sup>, 6 p. Marseille, impr. Barthelet et C<sup>ie</sup> (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. de Marseille*). (10073)
- DUMONT. — L'Acétylène et son application à l'éclairage, conférence faite à Annecy. In-8<sup>o</sup>, 20 p. Annecy, impr. Dépollier et C<sup>ie</sup>. (6801)
- DUMONT (G.). — Électromoteurs; leurs applications. In-16, 184 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; Masson et C<sup>ie</sup>. 2f,50. (6194)
- FLURENT (E.). — Manuel d'analyse chimique appliquée à l'examen des produits industriels et commerciaux. In-8<sup>o</sup>, iii-582 p. avec fig. Paris, G. Carré et C. Naud. (12417)
- FOURNIER (J.). — Récipients de sûreté et régulateurs de pression pour les gaz liquéfiés ou comprimés applicables à l'éclairage

- par l'acétylène liquide, comprimé ou dissous. In-8<sup>o</sup>, 24 p. avec fig. Paris, impr. Noblet. (10095)
- GASTINE (G.). — L'Acétylène et ses applications à l'éclairage, conférence faite à la Société scientifique industrielle de Marseille. In-8<sup>o</sup>, 73 p. Marseille, impr. Barthelet et C<sup>ie</sup>. (9645)
- HANAPPE (S.). — Installations à courants triphasés. In-4<sup>o</sup> à 2 col., 20 p. avec fig. Paris, G. Carré et C. Naud (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (8433)
- JORDAN (S.). — Rapport fait à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, sur l'ensemble des travaux de M. A. Lencachez sur les chauffages au gaz, et notamment sur leurs applications métallurgiques. In-8<sup>o</sup>, 8 p. Paris, impr. Fayolle. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'encouragement pour l'industrie nationale*). (8730)
- LEFÈVRE (J.). — Carbure de calcium et Acétylène. In-18 Jésus, viii-424 p. avec 105 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (10872)
- LIAGRE (C.). — L'Accumulateur électrique. Lecture faite à la Société industrielle d'Amiens. In-8<sup>o</sup>, 11 p. avec fig. Amiens, impr. Jeunet. (7817)
- MINET (A.). — Électro-Métallurgie. Voie humide et Voie sèche. Phénomènes électrothermiques. In-16, 196 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; Masson et C<sup>ie</sup>. (8092)
- Les Fours électriques et leurs applications. In-16, 179 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; Masson et C<sup>ie</sup>. 2f,50. (11414)
- MOISSAN (H.). — Le Four électrique. In-8<sup>o</sup>, vi-387 p. Paris, Steinheil. 15 fr. (6563)
- PERRODIL (C. DE). — Le Carbure de calcium (Historique; Fours électriques; Fabrication industrielle; Propriétés et Applications). In-8<sup>o</sup>, 84 p. avec fig. Marseille, impr. Barthelet et C<sup>ie</sup>. (10201)
- PIERROT (A.). — L'industrie métallurgique dans le nord de la Meuse. In-8<sup>o</sup>, 16 p. Montmédy, impr. Pierrot. (10913)
- SCHLESING fils (T.). — Principes de chimie agricole. 2<sup>e</sup> édition. In-16, 200 p. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>; Gauthier-Villars et fils. 2f,50. (8860)
- SEYEWETZ (A.) et P. SISLEY. — Chimie des matières colorantes artificielles. In-4<sup>o</sup>, viii-821 p. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>. (11690)
- TOMMASI (D.). — Note sur l'accumulateur Tommasi et sur son application à la traction des véhicules et à l'éclairage des voitures de chemins de fer. In-8<sup>o</sup>, 8 p. avec fig. Marseille, imp. Barlatier (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*). (11457)

- Transport (le) électrique des forces motrices. In-16, 160 p. avec fig. Paris, Bernard et C<sup>ie</sup>. 1<sup>r</sup>, 50. (10259)
- VILLON (A.-M.) et P. GUICHARD. — Dictionnaire de chimie industrielle, contenant les applications de la chimie à l'industrie, à la métallurgie, à l'agriculture, à la pharmacie, à la pyrotechnie et aux arts et métiers. T. II (non paginé, feuilles 20 à 37). In-4° à 2 col. Paris, Tignol. (8902)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

- BATZ (R. DE). — Les Gisements aurifères de Sibérie. Notes sur leur condition actuelle et leur avenir. In-8°, xix-176 p. avec 12 fotogr., 7 planches hors texte et 1 carte minière de la Sibérie. Paris, impr. Chamerot et Renouard. (42996)
- BÉNARD (C.). — Le Vénézuéla. Études physiques, politiques, commerciales, minières et agricoles. Avec une préface de Gabriel Desbats, docteur en droit, conseiller de préfecture de la Gironde. In-8°, xviii-106 p. Bordeaux, impr. Gounouilhou. (13254)
- BERNARD (M.). — Étude sur le gisement de la Caunette et sur le traitement de ses minerais. In-8°, 44 p., 2 pl. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales des Mines*). (11261)
- BORDEAUX (A.). — Études sur les champs aurifères de Lydenburg, de Kaap et du Charterland (Afrique du Sud). In-8°, 79 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. du même recueil). (8177)
- BURTHE (P.-L.). — Note sur les travaux de recherches exécutés à Meymac. In-8°, 31 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. du même recueil). (13022)
- CASTELNAU (F.). — Traitement des minerais. Préparation mécanique. In-8°, 84 p. avec fig. Paris, Bécus. (8944)
- CHATEAU (L.). — Les Gisements de phosphate de chaux dans les provinces de Constantine et d'Alger. In-8°, 120 p. et 2 pl. en coul. Paris, 19, rue Blanche (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils de France*). (10582)
- JORDAN (C.). — Les Mines de houille de Nanaïmo, île de Vancouver (Colombie britannique). Extrait d'un rapport de M. Camille Jordan, consul de France à Vancouver. In-8°, 7 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales des Mines*). (9001)
- LAUNAY (L. DE). — Les Diamants du Cap (Historique ; Organisation financière et commerciale ; Géologie ; Mode d'exploitation et de traitement ; Comparaison avec les gisements du Brésil, de

- l'Inde, de Bornéo et d'Australie). In-8°, vii-227 p. avec fig. Paris, Baudry. (10664)
- LAURANS (A.). — Mémoire sur les procédés de captage des eaux minérales. In-8°, 19 p. avec fig. Clermont-Ferrand, impr. Mont-Louis (Congrès international d'hydrologie, 1896). (12025)
- LEVAT (E.-D.). — L'Or en Sibérie orientale. 2<sup>e</sup> édition. T. I : Transbaïkalie. Gr. in-8°, xv-203 p. avec pl. et cartes en noir et en coul. T. II : Province amourienne. Gr. in-8°, 479 p. avec pl. en noir et en coul. Paris, Rouveyre. Les 2 vol. 40 fr. (11852-11853)
- NADAILLAC (DE). — Les Mines d'or du Yucon. In-8°, 16 p. Paris, impr. de Soye et fils (Extr. du *Correspondant*). (11420)
- ROUX (L.). — Les Explosifs de sûreté et la Veltérine. In-4°, 46 p. avec fig. Paris, Boinet et C<sup>ie</sup>. (13439)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

- DELEBECQUE (G.). — Manuel de statistique des chemins de fer français. Annuaire-Chaix. Exercice 1895. In-16, iv-40 p. Paris, Chaix. (6464)
- DEFOUR (A.). — Tracé d'un chemin de fer. In-16, 212 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils ; Masson et C<sup>ie</sup>. 2<sup>f</sup>, 50. (12601)
- DUPLAIX (M.). — Résistance des matériaux. Poutres droites à une travée et Appuis simples. Théorie des convois périodiques et Applications. In-8°, 51 p. et planches. Paris, 19, rue Blanche. (Extr. des *Mém. de la Soc. des Ingénieurs civils de France*). (13067)
- DUQUESNAY. — Résistance des matériaux. 2<sup>e</sup> édition. In-16, 176 p. Paris, Gauthier-Villars et fils ; Masson et C<sup>ie</sup>. 2<sup>f</sup>, 50. (11323)
- GODFERNAUX (R.). — La Traction mécanique des tramways (Étude des différents systèmes ; Comparaison et Prix de revient). In-8°, ii-376 p. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (13087)
- LEFORT (L.). — Consolidations des tranchées et remblais argileux. In-8°, 76 p. avec fig. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Nouvelles Annales de la Construction*). (10132)
- LEGOUEZ (R.). — De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains. In-8°, x-448 p. avec fig. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>. (11385)
- Moyens d'éviter les accidents de chemins de fer et de tramways par l'emploi des appareils de sécurité, système Laffas. Expériences pratiques officielles, effectuées le 28 août 1897. In-8°, 4 p. Paris, impr. Noizette et C<sup>ie</sup>. (10179)
- SIROT (A.). — Chemins de fer. Construction et Voie. In-16, viii-493 p. avec fig. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup>. (9989)

- Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1893. Documents divers. Première partie : France (intérêt général). In-4°, vi-294 p. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (8316)
- — — Deuxième partie : France ; Intérêt local ; Algérie et Tunisie. In-4°, vi-412 p. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (Ministère des Travaux publics). (11697)
- WALCKENAER (C.). — Note sur la traction électrique à prise de courant aérienne. In-8°, 120 p. avec fig. et planches. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales des Mines*). (8143)

8° Législation. — Économie politique et sociale.

- BRUSCHETTINI (A.). — L'Assurance contre les accidents du travail en Italie. In-8°, 47 p. Saint-Amand, impr. Bussière frères (13527)
- CHEYSSON (E.). — Le Rôle social de l'ingénieur, conférence faite devant la Société des Ingénieurs civils. In-8°, 17 p. Paris, Guillaumin et C<sup>ie</sup> (Extr. de *la Réforme sociale*). (12372)
- CUVILLIER (T.). — Législation et Contrôle des appareils à vapeur. In-16, viii-388 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup>. (8212)
- DUMOLARD (H.). — Les Délégués à la sécurité des ouvriers mineurs (thèse). In-8°, 191 p. Paris, Chevalier-Marescq et C<sup>ie</sup>. (8682)
- GRUNER (E.) et E. FUSTER. — Résultats statistiques sur l'assurance contre les accidents en Allemagne et en Autriche. Notes. In-8°, 27 p. et 4 pl. Paris, 20, rue Louis-le-Grand (Extr. du *Bulletin du Comité permanent du Congrès des accidents du travail*). (8989)
- GUYON (F.). — De la responsabilité des accidents du travail industriel (thèse). In-8°, 134 p. Saint-Brieuc, impr. Guyon. (9324)
- LE PLAY (P.) et G. VERSTRAET. — La Vie au Transvaal. Le Cafre, ouvrier des mines d'or. In-8°, 47 p. Paris, 54, rue de Seine (Extr. de *la Réforme sociale*). (12259)
- MARTIN (E.). — De la responsabilité des chemins de fer pour cause de retard (thèse). In-8°, 291 p. Paris, Larose. (9020)
- Office du travail. Note sur le minimum de salairé dans les travaux publics en Angleterre, en Belgique, en Hollande, en Suisse, aux États-Unis et en France (Analyse des documents officiels recueillis sur la demande du Conseil supérieur du travail). In-4°, 131 p. Paris, Impr. nationale (Ministère du commerce). (7256)
- ROCHETT DE LEMPDES (V.). — De l'établissement et de l'étendue d'application des tarifs de chemins de fer (thèse). In-8°, 276 p. Paris, A. Rousseau. (6609)

- ROUGÉ (A.). — Des caisses de retraites et de secours créées au profit des ouvriers et employés des mines par la loi du 29 juin 1894 (thèse). In-8°, 186 p. Paris, Chevalier-Marescq et C<sup>ie</sup>. (9086)
- SALEILLES (R.). — Les accidents du travail et la responsabilité civile (Essai d'une théorie objective de la responsabilité délictuelle). In-8°, 95 p. Paris, A. Rousseau. (11219)

9° Objets divers.

- DEBAUVE (A.). — Distributions d'eau ; Égouts. T. II : Moteurs divers pour appareils élévatoires ; Études préliminaires d'une distribution ; Exemples de dérivations, etc. In-8°, 611 p. avec fig. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup>. (7367)
- FONVIELLE (W. DE). — Les Ballons-Sondes de MM. Hermite et Besançon et les ascensions internationales. Précédé d'une introduction par M. Bouquet de la Grye, de l'Institut, président de la Commission scientifique d'aérostation de Paris. In-18 Jésus, xi-113 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11338)
- LAHARPE (C. DE). — Notes et Formules de l'ingénieur, du constructeur-mécanicien, du métallurgiste et de l'électricien ; 41<sup>e</sup> édition, revue, corrigée et considérablement augmentée, contenant près de 4.000 figures, suivie d'un vocabulaire technique en français, anglais, allemand, par un comité d'ingénieurs, sous la direction de L.-A. Barré et Ch. Vigreux, ingénieurs des arts et manufactures. In-16, xvi-1.312 p. Paris, Bernard et C<sup>ie</sup>. (11845)
- LAUR (F.). — La France sans houillères. In-8°, 23 p. Paris, 26, rue Brunel. 1 fr. (7429)
- MIRON (F.). — Les Huiles minérales (pétrole, schiste, lignite). In-16, 199 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils ; Masson et C<sup>ie</sup>. 2<sup>f</sup>, 50. (8514)
- NIVOIT (E.). — Notice sur la vie et les travaux de M. Massieu, inspecteur général des mines. In-8°, 27 p. Paris, Vicq-Dunod et C<sup>ie</sup> (Extr. des *Annales des Mines*). (8528)
- Programmes de l'enseignement intérieur de l'École nationale des ponts et chaussées, arrêtés par le Conseil de l'École et approuvés par le Ministre des travaux publics le 2 septembre 1897. In-8°, 169 p. Paris, Impr. nationale (Ministère des travaux publics). (11672)

- RAOULT (F.). — Éloge d'Émile Gueymard, doyen de la Faculté des sciences de Grenoble, ingénieur en chef directeur des mines, prononcé à la rentrée de l'Université de Grenoble (1897). In-8°, 16 p. Grenoble, Drevet. (13735)

### OUVRAGES ANGLAIS.

#### 1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BAKER (H.-F.). — An Introduction to Abel's Theorem and the allied Theory, including the Theory of the Theta. Londres. In-8°, xx-684 p. 37,50.
- BURNSIDE (W.). — Theory of Groups of finite Orders. Londres. In-8°. 22,50.
- HOUGH (S.-S.). — On the application of Harmonic Analysis to the Dynamical Theory of the Tides. Part. I, On Laplace's « Oscillation of the First Species » and on the Dynamics of Ocean Currents (Extr. des *Phil. Transactions*). In-8°. Dulau. 3,15.
- LAMB (H.). — Elementary Treatise of infinitesimal Calculus. Londres. In-8°, 636 p. 18 fr.
- LOVE (A.-E.-H.). — Theoretical Mechanics : An Introductory Treatise on the Principles of Dynamics, with Applications and Numerous Examples. In-8°, 396 p. Cambridge University Press. 15 fr.
- ROUTH (E.-J.). — The Elementary Part of a Treatise on the Dynamics of a System of Rigid Bodies : Being Part 1 of a Treatise on the whole Subject. With numerous Examples. 6th ed., Revised and Enlarged. In-8°, 438 p. Macmillan. 17,50.
- WORTHINGTON (A.-M.). — Dynamics of Rotation. An Elementary Introduction to Rigid Dynamics. 2nd ed. In-8°, 172 p. Longmans. 5,65.

#### 2° *Physique et Chimie.*

- ABNEY. — The Scientific Requirements of Colour Photography. In-8°. Clarendon Press. 1,25.
- ARMSTRONG (Lord). — Electric Movement in Air and Water. With Theoretical Inferences. In-fol. 61 p. et planches. Smith, Elder and Co. 37,50.

- Bibliography of X-Ray Literature and Research (1896-1897) : Being a Ready Reference Index to the Literature on the Subject of Röntgen or X-Rays. Edit. by C.-E.-S. Phillips. With an Historical Retrospect, and a Chapter, « Practical Hints », by the Author. In-8°, 104 p. Electrician Printing Co. 6,25.
- BIGGS (C.-H.-W.). — First Principles of Electricity and Magnetism. Illust. with about 350 Diagrams, etc. In-8°. Biggs. 4,40.
- CURRY (C.-E.). — Theory of Electricity and Magnetism. With a Preface by L. Boltzmann. In-8°, 438 p. Macmillan. 10,65.
- Early History of Chlorine (The) : Papers by Carl Wilhelm Scheele (1774), C.-L. Berthollet (1785), Guyton de Morveau (1787), J.-L. Gay-Lussac and L.-J. Thénard (1809). In-8°, 50 p. Simpkin. 1,90.
- FISHER (W.-C.). — The Potentiometer and its Adjuncts. In-8°, 204 p. Electrician Pub. Co. 7,50.
- HANSEN (C.-J.-T.). — Reform of Chemical and Physical Calculations. In-4°, 83 p. Spons. 9,40.
- HELM (G.) and MORGAN (J.-L.-R.). — Principles of mathematical Chemistry. Londres. In-8°, 236 p. 9,75.
- JAMESON (A.). — Elementary Manual of Magnetism and Electricity. 4th ed., with Numerous Illustrated Experiments and Examination Papers. In-8°, 312 p. C. Griffin. 4,40.
- JONES (E.-T.). — On the Relation between Magnetic Stress and Magnetic Deformation in Nickel. In-8°. Dulau. 1,25.
- MEADOWCROFT (W.-H.). — The A B C of the X Rays. Illustrations by H.-E. Fanshawe. In-8°, 190 p. Simpkin. 5 fr.
- MENDELEEFF (D.). — The Principles of Chemistry. Trans. from the Russian (6th ed.) by G. Kamensky. Edit. by T.-A. Lawson. 2 vol. In-8°. Longmans. 45 fr.
- NOYES (A.-A.). — A Detailed Course of Qualitative Chemical Analysis of Inorganic. With Notes. 3rd ed. In-8°. Macmillan. 6,25.
- PARKER (H.-C.). — A Systematic Treatise on Electrical Measurements. In-8°, 126 p. Spons. 5,65.
- PERMAN (E.-P.), RAMSAY (W.) and ROSE-INNES (J.). — An Attempt to Determine the Adiabatic Relations of Ethyl Oxide. In-8°. Dulau. 1,90.
- THOMPSON (S.-P.). — Light, Visible and Invisible : A Series of Lectures Delivered at the Royal Institution of Great Britain. In-8°, 306 p. Macmillan. 7,50.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- GEIKIE (A.). — The Founders of Geology. Londres. In-8°, 308 p. 9 fr.
- HARKER (A.). — Petrology for Students: An Introduction to the Study of Rocks under the Microscope. 2nd ed., Revised. In-8°, 342 p. Cambridge University Press. 9<sup>f</sup>,40.
- JOHNSTONE (A.). — Mineralogical Geology. A Synopsis for the Use of Students. To Accompany W. et A.-K. Johnston's Geological Map of the British Isles. In-8°, 202 p. avec 14 planches. W. and A.-K. Johnston. 4<sup>f</sup>,40.
- Memoirs of the Geological Survey. England and Wales. The Geology of the Country between Norham and Tweedmouth in Northumberland. Explanation of Quarter-Sheet 110 N. W., New Series, Sheet 1. By W. Gunn. 0<sup>f</sup>,65.
- The Geology of the Country around Bognor. Explanation of Sheet 332. 0<sup>f</sup>,65.
- REED (F.-R.-C.). — A Handbook to the Geology of Cambridgeshire. In-8°, 288 p. Cambridge University Press. 9<sup>f</sup>,40.
- RUSSELL (I.-C.). — Volcanoes of North America. A Reading Lesson for Students of Geography and Geology. In-8°. Macmillan. 20 fr.
- SCOTT (W.-B.). — An Introduction to Geology. In-8°, 602 p. Macmillan. 40 fr.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

- EWING (J.-A.). — The Steam-Engine and other Heat-Engines. 2nd ed. In-8°, 472 p. Cambridge University Press. 18<sup>f</sup>,75.
- GOODEVE (T.-M.). — Text-Book on the Steam Engine. With a Supplement on Gas Engines; and Part 2 on Heat Engines. 14th ed. In-8°, 456 p. Crosby Lockwood and Son. 7<sup>f</sup>,50.
- HALLIDAY (G.). — Steam Boilers. In-8°, 400 p. E. Arnold. 9<sup>f</sup>,40.
- HISCOX (G.-D.). — Gas, Gasoline and Oil Vapour Engines. A New Book Descriptive of their Theory and Power, Illustrating their Design, Construction and Operation for Stationary, Marine and Vehicle Motive Power. In-8°, 284 p. Spons. 15<sup>f</sup>,65.
- HURST (C.). — Valves and Valve-Gearing. A Practical Text-Book for the Use of Engineers, Draughtsmen, and Students. With numerous Illustrations and 4 Folding Plates. In-8°, 144 p. C. Griffin. 9<sup>f</sup>,40.

- JAMIESON (A.). — A Text-Book on Applied Mechanics. Vol. 2. With Numerous Diagrams and Examination Questions. In-8°, 402 p. C. Griffin. 9<sup>f</sup>,40.
- A Text-Book on Steam and Steam Engines. 12th ed. With Numerous Diagrams, Folding-Plates and Examination Questions. In-8°, 482 p. C. Griffin. 10<sup>f</sup>,65.
- LE VAN (B.). — The Practical Management of Engines and Boilers. In-8°. Paul, Trübner and Co. 7<sup>f</sup>,50.
- PEABODY (C.-H.) and MILLER (E.-F.). — Steamboilers. Londres. In-8°, 400 p. 26 fr.
- PERRY (J.). — Applied Mechanics. Londres. In-8°, 686 p. av. 371 fig. 14<sup>f</sup>,25.
- RANKINE (W.-J.-M.). — A Manual of the Steam Engine and other Prime Movers. With Numerous Engravings, Folding-Plates, and a Diagram of the Mechanical Properties of Steam. 14th ed., Revised by W.-J. Millar. In-8°, 672 p. C. Griffin. 15<sup>f</sup>,65.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Metallurgie.*

- ADIE (R.-H.) and WOOD (T.-B.). — Agricultural Chemistry. 2 vols. In-8°. Paul Trübner and Co. 4<sup>f</sup>,40.
- AUSTEN (W.-C.-R.). — An Introduction to the Study of Metallurgy. 4th ed., Revised and Enlarged. In-8°, 440 p. C. Griffin. 18<sup>f</sup>,75.
- BORTONE (S.-R.). — The Dynamo: How Made, and How Used. 10th ed. With Numerous Illustrations, and Appendix. In-8°, 144 p. Sommenschein. 3<sup>f</sup>,15.
- BERINGER (C. and J.-J.). — A Text Book of Assaying. For the Use of those Connected with Mines. Revised by J.-J. Beringer. With Numerous Diagrams and Tables. 4th ed. In-8°, 420 p. C. Griffin. 13<sup>f</sup>,15.
- BORCHERS (W.). — Electric Smelting Refining: The Extraction and Treatment of Metals by Means of the Electric Current. Being the 2nd ed. of « Elektrometallurgie ». Translated, with Additions, by W.-G. McMillan. With 3 Plates and numerous Illust. in the Text. In-8°, 436 p. C. Griffin. 26<sup>f</sup>,25.
- HAY (A.). — The Principles of Alternate-Current Working. Illust. In-8°, xi-276 p. Biggs. 6<sup>f</sup>,25.
- LENDHOVEN (A.-J. VAN). — A Comparison between the English and French Methods of Ascertaining the Illuminating Power of Coal. In-8°, 98 p. Spons. 5 fr.

- Manual of Electrical Undertakings, 1897. Compiled under the Direction of *E. Garcke*. 49 Maps and Coloured Diagrams, Showing Comparative Results of Working of Electricity Supply Undertakings. In-8°, 598 p. P.-S. King. 9<sup>f</sup>,40.
- RAPHAEL (F.-C.). — The Localisation of Faults in electric Light-Mains. Londres. In-8°, 336 p. 7<sup>f</sup>,50.
- SCOTT (E.-K.). — The Local Distribution of Electric Power in Workshops, etc. Illust. In-8°, 137 p. Biggs. 2<sup>f</sup>,50.
- URQUHART (J.-W.). — Electric Light : Its Production and Use, embodying Plain Directions for the Treatment of Dynamo-Electric Machines, Batteries, Accumulators, and Electric Lamps. With numerous Illusts. 6th ed., Revised, with an additional Chapter. In-8°, 444 p. Crosby Lockwood and Son. 9<sup>f</sup>,40.
- Electric Light Fitting : A Handbook for Working Electrical Engineers. Embodying Practical Notes on Installation Management. With numerous Illustrations. 3rd ed., Revised, with Further Additions. In-8°, 330 p. Crosby Lockwood and Son. 6<sup>f</sup>,25.
- WILSON (E.). — Electrical Traction. In-12, 262 p. Arnold. 6<sup>f</sup>,25.
- WEST (T.-D.). — Metallurgy of Cast Iron. Londres. In-8°, 573 p. 18<sup>f</sup>,75.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

- BROUGH (B.-H.). — A Treatise on Mine-Surveying. 6th ed., Revised. With Numerous Diagrams. In-8°, 358 p. C. Griffin. 9<sup>f</sup>,40.
- DENNY (G.-A.). — The Klerksdorp Gold Fields in the South African Republic. Londres. In-8°, 268 p. avec. plans, coupes et cartes. 62<sup>f</sup>,50.
- DONALD (T.). — Accounts of Gold Mining and Exploration Companies. With Instructions and Forms for Rendering the Same to the Head Office. In-8°, 56 p. E. Wilson. 4<sup>f</sup>,40.
- HAYERLY (C.-E.). — Klondike and Fortune; The Experiences of a Miner who has Acquired a Fortune in the Yukon Valley. In-8°, iv-135 p. Southwood, Smith and Co. 1<sup>f</sup>,25.
- Home Office. Mines. List of the Plans of Abandoned Mines Deposited in the Home Office under the Coal and Metalliferous Mines Regulation Acts, including Plans Transferred from the Late « Mining Record Office ». Corrected to the 31st December 1896. 0<sup>f</sup>,95.
- Mines. Year 1896. List of Mines in the United Kingdom of Great Britain and Ireland, and the Isle of Man. 3<sup>f</sup>,65.

- HULL (E.). — Our Coal Resources at the Close of the Nineteenth Century. In-8°, 170 p. Spons. 7<sup>f</sup>,50.
- JAMES (F.). — The Klondyke Goldfields and How to Get There. With a Map. In-8°, 88 p. Routledge. 0<sup>f</sup>,65.
- KIRKPATRICK (T.-S.-G.). — The Hydraulic Gold-Miner's Manual. With Illusts. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 50 p. Spons. 5 fr.
- LAWN (J.-G.). — Mine Accounts and Mining Bookkeeping. A Manual for the Use of Students, Managers of Metalliferous Mines and Collieries, and Others Interested in Mining. With Numerous Examples from the Actual Practice of Leading Mining Companies. In-8°, 158 p. C. Griffin. 13<sup>f</sup>,15.
- MERIVALE (J.-H.). — Notes and Formulæ for Mining Students. 4th ed., revised and enlarged by *H. F. Bulman*. In-8°, 198 p. Crosby Lockwood and Son. 3<sup>f</sup>,15.
- MILLER (J.-A.). — The Practical Handbook for the Working Miner and Prospector and the Mining Investor. In-8°, 254 p. Spons. 9<sup>f</sup>,40.
- Parliamentary. — Mines. Third Annual general Report upon the Mineral Industry of the United Kingdom for 1896. Diagrams. 2<sup>f</sup>,95.
- Mines and Quarries. Mineral Statistics of the United Kingdom for 1896. 2<sup>f</sup>,15.
- POTTS' Mining Register and Directory for the Coal and Ironstone Trades of Great Britain and Ireland. 8th ed. In-8°, 360 p. Simpkin. 12<sup>f</sup>,50.
- SOLA (A.-E.). — Klondyke : Truth and Facts of the New El Dorado. In-8°, 100 p. Plates and Maps. Mining and Geological Institute. 6<sup>f</sup>,25.

7° *Chemins de fer.*

- Parliamentary. — Railway Accidents. Returns for Jan.-June 1897. 0<sup>f</sup>,65.
- Railways. Continuous Brakes. Returns for July-Dec. 1896. 1<sup>f</sup>,25.
- — Traffic, Capital, etc. Returns for 1896. 1<sup>f</sup>,15.
- — Metropolitan Railway, Ventilation of Tunnels. Report of Board of Trade Committee, with Evidence, Appendix and Index. Plans, etc. 0<sup>f</sup>,45.

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

- MAC SWINNEY (R.-F.). — Law of Mines, Quarries and Minerals. London. In-8°. 60 fr.
- Parliamentary.* — Railways. Workmen's Trains on the Metropolitan Lines. Statements to Board of Trade as to Facilities Offered to the Working Classes. 0<sup>l</sup>,65.

9° *Objets divers.*

- BALE (M.-P.). — Stone-Working Machinery, and the Rapid and Economical Conversion of Stone. With Hints on the Arrangement and Management of Stone-Works. With numerous Illusts. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 490 p. Crosby Lockwood and Son. 11<sup>l</sup>,25.
- BAXENDELL (J.). — An Account of an Investigation as to Short Period Cyclical Changes in the Magnetic Condition of the Earth, and in the Distribution of Temperature on its Surface. In-8°, 7 p. W. Wesley. 4<sup>l</sup>,25.
- JONES (R.-H.). — Abestos and Asbestic : Their Properties, Occurrence and Use. With 10 Collotype Plates and other Illusts. In-8°, 384 p. Crosby Lockwood and Son. 20 fr.
- RANKINE (W.-J.-M.). — A Manual of Civil Engineering. With numerous Diagrams. 20th ed., Thoroughly Revised. By W.-J. Millar. In-8°, 834 p. C. Griffin. 20 fr.

## OUVRAGES AMÉRICAINS.

- DAWSON (P.). — Electric Railways and Tramways, their Construction and Operation. New-York. In-8°, 26-677 p. 78 fr.
- HIXON (H.-W.). — Notes on Lead and Copper Smelting and Copper Converting. New-York, Scientific Publishing Co. In-8°, viii-146 p., 18 pl.
- RICKARD (T.-A.). — The Stamp Milling of Gold ores. New-York, Scientific Publishing Co. In-8°, xi-260 p. 42<sup>l</sup>,50.

## OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BOLTZMANN (L.). — Vorlesungen über die Principe der Mechanik. I. Thl., enthaltend die Principe, bei denen nicht Ausdrücke nach der Zeit integrirt werden, welche Variationen der Coordinaten oder ihrer Ableitungen nach der Zeit enthalten. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, x-241 p. av. 16 fig. (Paratra en 3 parties). 7<sup>l</sup>,50. (3967)
- BURKHARDT (H.). — Funktionentheoretische Vorlesungen. I. Thl. A. u. d. T. : Einführung in die Theorie der analytischen Functionen einer complexen Veränderlichen. Leipzig, Veit und Co. In-8°, xii-243 p. av. fig. 7<sup>l</sup>,50. (2074)
- DYCK (W.). — Ueber die wechselseitigen Beziehungen zwischen der reinen und der angewandten Mathematik. München, G. Franz. In-4°, 38 p. 4<sup>l</sup>,50. (3564)
- FRICKE (R.) und F. KLEIN. — Vorlesungen über die Theorie der automorphen Functionen. I. Bd. : Die gruppentheoretischen Grundlagen. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, xiv-634 p. av. 192 fig. 27<sup>l</sup>,50. (3977)
- KLEIN (F.) und A. SOMMERFELD. — Über die Theorie des Kreisels, 1. Heft. Die kinematischen und kinetischen Grundlagen der Theorie. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, 496 p. 7 fr. (3183)
- KRAUSE (M.). — Theorie der doppelperiodischen Functionen einer veränderlichen Grösse. II. Bd. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, xii-306 p. (Fin). 15 fr. (3484)
- OBENRAUCH (F.-J.). — Geschichte der darstellenden und projectiven Geometrie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Begründung in Frankreich und Deutschland und ihrer wissenschaftlichen Pflege in Oesterreich. Brünn, C. Winiker. In-8°, vi-442 p. av. 2 portraits. 11<sup>l</sup>,25. (2848)

2° *Physique et Chimie.*

- BILTZ (H.). — Die Praxis der Molekelgewichtsbestimmung. Berlin, Fischer. In-8°, viii-176 p. av. fig. 4<sup>l</sup>,50. (4343)

- ERERT (H.). — Magnetische Kraftfelder. Die Erscheinungen des Magnetismus, Elektromagnetismus und der Induktion, dargestellt auf Grund des Kraftlinien-Begriffes. II. Tl. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, xviii p. et p. 225-499, av. 47 fig. dans le texte et sur 4 pl. 12<sup>f</sup>,50. (2474)
- ERNST (C.). — Eine Theorie des elektrischen Stromes auf Grund des Energieprincipes. München, Dr. H. Lüneburg. In-8°, 64 p. av. 6 fig. 2<sup>f</sup>,50. (3973)
- EXNER (F.) und E. HASCHER. — Ueber die ultravioletten Funken-spectra der Elemente. VII. Mittheilung. Vienne, C. Gerold's Sohn. In-8°, 15 p. av. 6 pl. 2<sup>f</sup>,40. (3175)
- v. FILITZEN (H.). — Ueber die Zusammensetzung und die Pentosane des Torfes, über Gährungsversuche mit Torf und über die angebliche Huminbildung aus Zucker mit Kaliumpermanganat. Göttingen, Vandenhœck und Ruprecht. In-8°, 54 p. 2 fr. (3177)
- GRAHAM (W.). — Ueber den Verlauf des Potentialgradienten in Geissler'schen Röhren. Berlin, Mayer und Müller. In-8°, 32 p. av. 7 pl. 2 fr. (4354)
- HOMÉN (T.). — Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde (Extr. des *Acta societatis scientiarum fennicæ*). Leipzig, W. Engelmann. In-4°, 147 p. av. 5 fig. et 10 pl. 12<sup>f</sup>,50. (3981)
- JANUSCHKE (H.). — Das Princip der Erhaltung der Energie und seine Anwendung in der Naturlehre. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, x-455 p. av. 93 fig. 15 fr. (3181)
- v. LOMMEL (E.). — Lehrbuch der Experimentalphysik. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, ix-558 p. av. 430 fig. dans le texte et 1 pl. en coul. 8 fr. (4357)
- LOUGUINE (W.). — Beschreibung der Hauptmethoden, welche bei der Verbrennungswärme üblich sind. Berlin, R. Friedländer und Sohn. In-4°, 112 p. av. 4 pl. grav. et 21 fig. dans le texte. 12<sup>f</sup>,50. (3987)
- PHILIPS (B.). — Hilfsbuch für chemische Praktikanten. Stuttgart, F. Enke. In-8°, viii-330 p. av. 263 fig. 10 fr. (3992)
- PLANCK (M.). — Vorlesungen über Thermodynamik. Leipzig, Veit und Co. In-8°, vii-248 p. av. 5 fig. 9<sup>f</sup>,40. (2096)
- RÖNTGEN (W.-C.). — Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin*). Berlin, G. Reimer. In-8°, 17 p. av. 1 fig. 1<sup>f</sup>,25. (2503)
- Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge. Herausgegeben von F.-B. Ahrens. II. Bd. 3-7. Heft. Über Tauto-

- merie von W. Wislicenus. Stuttgart, F. Enke. In-8°, p. 71-256. Chaque fascicule 1<sup>f</sup>,25. (2853)
- WALENTIN (G.). — Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Mit besonderer Berücksichtigung der neueren Anschauungen über elektrische Energieverhältnisse und unter Darstellung der den Anwendungen in der Elektrotechnik zugrunde liegenden Principien. Stuttgart, F. Enke. In-8°, viii-394 p. av. 230 fig. 10 fr. (2106)
- WEILER (W.). — Wörterbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Leipzig, M. Schäfer. In-8°, iv p. et p. 1-40, av. fig. 0<sup>f</sup>,95 (Paratra en 10 fascicules). (3076)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- BERWERTH (F.). — Mikroskopische Structurbilder der Massensteine in farbigen Lithographien. Nach der Natur lithographirt von A. Berger und L. Steiner. 32 lithographirte Tafeln. 2 Lfg. Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 8 pl. av. texte. 25 fr. (2469)
- COHEN (E.). — Meteoreisen-Studien. V. (Extr. des *Annalen des k. k. naturhist. Hofmuseums*). Vienne, A. Hölder. In-8°, 22 p. 1<sup>f</sup>,25. (4347)
- GOLDSCHMIDT (V.). — Krystallographische Winkeltabellen. Berlin, J. Springer. In-8°, 432 p. av. 12 fig. 25 fr. (3567)
- GOTTSCHÉ (C.). — Die Endomoränen und das marine Diluvium Schleswig-Holstein's, im Auftrage der geographischen Gesellschaft in Hamburg untersucht. I. Thl. Die Endomoränen (Extr. des *Mittheil. d. geograph. Gesellschaft in Hamburg*). Hamburg; Leipzig, Friederichsen und Co. In-8°, ii-57 p. av. 7 pl. et 1 carte. 5 fr. (2479)
- LEONHARD (R.). — Die Fauna der Kreideformation in Oberschlesien (Extr. des *Palaeontographica*). Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 70 p. av. 12 fig. et 4 pl. 15 fr. (3187)
- MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. 430. u. 431. Lfg. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°. Chaque livraison 11<sup>f</sup>,25. (3376)
- — Systematisches Conchilien-Cabinet. Sect. 142. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°. 11<sup>f</sup>,25. (2493)
- — Systematisches Conchilien-Cabinet. Sect. 143. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°. 33<sup>f</sup>,75. (3377)
- — Systematisches Conchilien-Cabinet. I. Bd. 12 Abthg. — III. Bd. 1. Abthg. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°. 237<sup>f</sup>,50. (2494)

- MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. II. Bd. 13. Abth. Die Familie der Sculariidæ. Von S. Clessin. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°, 76 p. av. 48 fig. en coul. 37<sup>f</sup>,50. (3188)
- PERNER (J.). — Études sur les Graptolites de Bohême. 3<sup>e</sup> partie. Prague, Leipzig, R. Gerhard. In-4°, 23 p. 18<sup>f</sup>,75. (3194)
- PHILIPPI (E.). — Ueber *Ischyodus suevicus* nov. sp. Ein Beitrag zur Kenntniss der fossilen Holocephalen (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 10 p. av. 2 pl. 6<sup>f</sup>,25. (3195)
- POTONIÉ (H.). — Lehrbuch der Pflanzenpalaeontologie mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse des Geologen. 2. Lfg. Berlin, F. Dümmler. In-8°, av. fig. 2<sup>f</sup>,50. (3588)
- RAUBER (A.). — Atlas der Krystallbrengeneration. 2 Heft. Wucherfelder. Jurjeff; Leipzig, A. Georgi. In-8°, 18 pl. fotogr., 1 f. texte. 23 fr. (3197)
- v. SCHLECHTENDAL (D.-H.-R.). — Beiträge zur näheren Kenntnis der Braunkohlenflora Deutschlands (Extr. des *Abhandl. d. naturforsch. Gesellschaft zu Halle*). Halle, M. Niemeyer. In-8°, 28 p. av. 1 fig. et 4 pl. 2<sup>f</sup>,50. (3996)
- SCHRÖCKENSTEIN (F.). — Silicat-Gesteine und Meteorite. Petrographisch chemische Studie, auf Grundlage des neuesten Standes der Wissenschaft bearbeitet. Prague, H. Dominicus. In-8°, iv-456 p. 5 fr. (4370)
- UNLIG (V.). — Die Geologie des Tatragebirges. I. Einleitung und stratigraphischer Theil (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften*). Vienne, C. Gerold's Sohn. In-4°, 44 p. av. 17 fig. 4 fr. (4002)
- WÜLFING (E.-A.). — Die Meteoriten in Sammlungen und ihre Literatur, nebst einem Versuch, den Tauschwert der Meteoriten zu bestimmen. Tübingen, H. Laupp. In-8°, XLVI-460 p. 18<sup>f</sup>,75. (2109)

4<sup>o</sup> Mécanique appliquée et Machines.

- HAEDER (H.). — Die kranke Dampfmaschine und erste Hülfe bei Betriebsstörung. Duisburg; Düsseldorf, L. Schwann. In-8°, xv-303 p. av. 633 fig. 7<sup>f</sup>,50. (3056)
- v. HOYER (E.). — Kurzes Handbuch der Maschinenkunde. 10. Lfg. München, Th. Ackermann. In-8°, XII p. et p. 865-998, av. fig. 4<sup>f</sup>,25. (4223)
- KECK (W.). — Vorträge über Mechanik als Grundlage für das Bau-

und Maschinenwesen. II. Thl.: Mechanik elastisch-fester und flüssiger Körper. Hanovre, Helwing. In-8°, VIII-367 p. av. 364 fig. 15 fr. (2321)

5<sup>o</sup> Applications industrielles de la physique et de la chimie. —  
Métallurgie.

- ARNOLD (E.). — Constructionstafeln für den Dynamobau. I. Thl. Gleichstrom-Maschinen. Stuttgart, F. Enke. In-fol., 55 pl. autogr. av. 1 feuille de texte. 25 fr. (3051)
- DÜRRE (E.-F.). — Vorlesungen über allgemeine Hüttenkunde. Uebersichtliche Darstellung aller Methoden der gewerblichen Metallgewinnung, eingeleitet durch eine ausführliche Schilderung aller in Betracht kommenden Eigenschaften der Metalle und ihrer Verbindungen, und abgeschlossen durch eine Uebersicht aller wichtigeren Apparate und Hilfsmittel. 1. Hälfte. Halle, W. Knapp. In-4°, VII-128 p. av. fig. 12<sup>f</sup>,50. (4599)
- ERHARD (T.). — Einführung in die Elektrotechnik. Die Erzeugung starker elektrischer Ströme und ihre Anwendung zur Kraftübertragung. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, VI-183 p. av. 95 fig. 5 fr. (3428)
- HOLZT (A.). — Die Schule des Elektrotechnikers. Lehrhefte für die angewandte Elektrizitätslehre. Herausgegeben im Verein mit H. Wieweger und H. Stapelfeldt. 20-24 Heft. Leipzig, M. Schäfer. In-8°. Chaque fascicule 0<sup>f</sup>,95. (2702-3824)
- PANAOROVIC (J.-P.). — Calciumcarbid und Acetylen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, 125 p. av. 4 fig. 4<sup>f</sup>,50. (3193)
- ULZER (F.) und FRÄNKEL (A.). — Anleitung zur chemisch-technischen Analyse. Für den Gebrauch an Unterrichts-Laboratorien bearbeitet. Berlin, J. Springer. In-8°, XI-192 p. av. fig. 6<sup>f</sup>,25. (2858)

6<sup>o</sup> Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.

- CREMER (L.). — Die Sudan-Ueberschiebung. Eine Studie auf den Lagerungs-Verhältnissen des Westfälischen Steinkohlengebirges (Extr. du *Glückauf*). Essen, G.-D. Bædeker. In-4°, 8 p., 3 pl. 2<sup>f</sup>,50. (3172)

## 7° Chemins de fer.

CAUER (W.). — Betrieb und Verkehr der preussischen Staatsbahnen. Ein Handbuch für Behörden und Beamte. I. Thl. Berlin, J. Springer. In-8°, xxiii-471 p., av. 67 fig. dans le texte et sur 4 pl. 10 fr. (Paraitra en 2 parties). (3052)

Eisenbahn-Technik (die) der Gegenwart. Unter Mitwirkung von Bathmann, Berndt, v. Beyer, etc. herausgegeben von Blum, v. Borries, Barkhausen, II. Bd. Der Eisenbahnbau. 2. Abschn. Der Oberbau. Wiesbaden, C.-W. Kreidel. In-8°, vii p. et p. 114-308, av. 292 fig. 6f,25. (2696)

## 8° Législation. — Économie politique et sociale.

Handwörterbuch des gesamten Versicherungswesens einschließlich der socialpolitischen Arbeiter-Versicherung. Unter Mitwirkung hervorragender Fachleute und Juristen des In- und Auslandes herausgegeben von E. Baumgartner. I. Bd. Strasbourg, E. Baumgartner. In-8°, p. 1-80. 1f,30 (Paraitra en 50 livraisons). (4348)

## 9° Objets divers.

BECK (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. III. Abtlg. Das 18. Jahrhundert. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, vii-1205 p. 43f,75. (3419)

— — — IV. Abtlg. Das 19. Jahrhundert, I. Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, p. 1-176, av. fig. 6f,25. (4215)

## OUVRAGES SUISSES.

BIGLER (U.). — Ein Beitrag zur Theorie der arithmetischen Reihen. Aarau, H.-R. Sauerländer und Co. In-8°, 36 p. 1f,25.

TORNQUIST (Alex.). — Die degenerierten Perisphinctiden des Kimmeridge von Le Havre (Extr. des *Abhandl. d. schweiz. paläont. Gesellschaft*). Zurich. In-4°, 43 p. av. 8 pl. 13 fr.

## OUVRAGES HOLLANDAIS.

MARTIN (K.). — Reisen in den Molukken, in Ambon, den Uliassern, Seran (Ceram) und Buru. Geologischer Thl. 1. Lfg. : Ambon und die Uliasser. Leyde, E.-J. Brill. In-8°, viii-98 p. av. 3 cartes, 5 pl. et 20 fig. 6f,25.

DE STOPPELAAR (C.-P.). — De Petroleum-industrie in het bijzonder die van Nederlandsch Oost-Indië. Amsterdam. In-8°, 10 — 225 p. 9f,40.

## OUVRAGES RUSSES.

FEDOROFF (E.-S.). — Principes de pétrographie (en russe). Saint-Petersbourg. In-8°, 240 p. 7f,50.

SOCHOZNIK (I.). — Des intégrales définies et des équations de fonctions (en russe). Saint-Petersbourg. In-8°. 7f,50.

## OUVRAGES ESPAGNOLS.

MUÑOZ DE MADARIAGA (J.-J.). — Lecciones de mineralogia. Madrid. In-4°, 704 p. 43f,15.

REPULLES Y VARGAS (E.-M.). — Escuela de ingenieros de minas de Madrid. In-fol., 36 p. et 7 pl. 23f,45.

## OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

AMALDI (I.). — Nella divisione delle grandezze la bisezione può considerarsi come l'operazione elementare. Avellino, tip. E. Pergola. In-8°, 4 p. (Extr. du *Pitagora*). (8571)

- AMOROSO (L.). — Su di un caso d'oscillazione in un problema di geometria: nota. Naples. tip. della Giurisprudenza. In-8°, 14 p. av. planche. (9384)
- BLANCHI (C.). — Teoria dei gruppi e delle equazioni algebriche secondo Galois. Pise. In-8°, 376 p. 12 fr.
- CALZEGGI (T.). — Sopra le due prime leggi del moto. Fermo, tip. Bacher. In-8°, 3 p. (Extr. du journal *La nostra scuola*). (5391)
- CARDOSO-LAYNES (G.). — Le cubiche piane razionali circolari. Livourne, tip. S. Belforte e C. In-8°, 12 p. (9833)
- CHIARELLA (P.). — Le principali questioni sull'equilibrio e sul movimento svolte come applicazione della matematica elementare. Oneglia, tip. eredi Ghilini. In-8°, 86 p. av. planche. (7333)
- CREPAS (E.). — Teoria dei momenti d'inerzia. Milan, Allegri Segati e C. In-16, 140 p. 1<sup>fr</sup>,50. (5393)
- GIAVARINI (C.). — A difesa del mio primo studio, Trisezione elementare dell'angolo piano rettilineo, impresso in Modena il 12 ottobre 1892. Modène, tip. A. Rossi. In-8°, 15 p. (6859)
- GRIECO (M.). — Sulle relazioni biquadriche fra le funzioni *theta* e sopra le corrispondenti formole di addizione. Rome, tip. della r. accad. dei Lincei. In-4°, 20 p. (8577)
- MARSEGLIA (N.). — Sulle piccole oscillazioni di un sistema meccanico intorno ad una posizione di equilibrio stabile. Naples, tip. Trani. In-8°, 51 p. (5398)
- NICCOLETTI (O.). — Sulla trasformazione delle equazioni lineari del secondo ordine con due variabili indipendenti. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 143 p. (Extr. des *Annali della r. scuola norm. sup. di Pisa*). (8206)
- PINNA (S.). — Sulle curve piane razionali e sui fasci che con esse si possono fare. Turin, tip. Bona. In-8°, 59 p. (7338)
- REPETTO (G.). — Alcune applicazioni al metodo di Jacobi per l'integrazione delle equazioni differenziali. Sassari, tip. G. Dessi. In-8°, 23 p. (7341)
- RICCI (G.). — Lezioni sulla teoria delle superficie. Vérone-Padoue, fr. Drucker. In-8°, 8 — 416 p. 10 fr. (7794)
- ROBERTO (G.). — Iperdimensioni. Potenza, Garramone e Marchesiello. In-16, 12 p. (9021)

2° *Physique et Chimie.*

- ALESSANDI (P.-E) e G. GUALBERTO ALESSANDRI. — Analisi chimica dell'acqua minerale sulfurea di S. Omobono (fonte nuovo),

- comune di Mazzoleni in Valle Imagna. Pavie, tip. fr. Fusi. In-8°, 11 p. (10278)
- ANGELI (A.). — Sopra l'acido nitroidrossilamminico: nota. Bologna tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 15 p. (Extr. du *Rendiconto delle sessioni d. r. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (7327)
- ANTONY (U.). — Azione delle acque potabili sui tubi di piombo. Livourne, tip. A. Debatte. In-8°, 7 p. (6420)
- ANTONY (U.) e T. BENELLI. — Esperienze relative alle acque potabili che hanno percorso tubi di piombo: nota II. Livourne, tip. C. Meucci. In-8°, 12 p. (5389)
- ARNO (R.). — Metodi e strumenti di misura della differenza di fase fra due correnti alternative. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, 56 p. avec fig. 3 fr. (4597)
- CAVALLI (A.). — Sovra un reattivo molto sensibile per svelare la reazione alcalina nelle acque potabili. Pavie, tip. fr. Fusi. In-8°, 1 p. (Extr. du *Selma*). (9834)
- CAVAZZI (A.). — Di alcune ricerche sugli arseniti e sugli arseniati di cromo: nota. Bologna, tip. Gamberini et Parmeggiani. In-4°, 12 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (8195)
- CORBINO (O.-M.). — Ricerche sulla variazione della costante dielettrica per la trazione del coibente. Florence, tip. Niccolai. In-8°, 12 p. av. planche. (Extr. de la *Rivista scientifica e industriale di Firenze*). (7334)
- FERRARI (D.). — Contributo allo studio di correnti elettro-organiche e di elettricità di minima quantità e tensione da esse svelata: esperienze. Gênes, tip. L. Sambolino e figlio. In-8°, 31 p. (8198)
- FILETI (M.). — Tavole di analisi chimica qualitativa. Sesta edizione. Turin, E. Loescher. In-16°, av. fig., 58 p. av. 14 tableaux. 3<sup>fr</sup>,50. (9836)
- FILETI (M.) e F. MAURO. — Analisi di alcune acque termo-minerali di Civitavecchia. Civitavecchia, tip. V. Strambi. In-4°, 49 p. (9837)
- GALILEI GALILEO. — Le opere. Edizione nazionale sotto gli auspici di S. M. il Re d'Italia. Volume VII. Florence, tip. G. Barbèra. In-4°, 734 p. av. fig. et portrait. (5895)
- GARBASSO (A.). — Quindici lezioni sperimentali sulla luce considerata come fenomeno elettromagnetico. Milan, *L'Elettricità*. In-16, 255 p. av. 3 pl. (8200)
- GIONGO (C.). — Note di analisi chimica qualitativa minerale. Milan, tip. del Riformatorio patronato. In-8°, 84 p. (9839)

- GIUSTINIANI (E.) e G. SCOGNAMIGLIO. — Nozioni di analisi chimica qualitativa. Naples, tip. Velardi e C. In-8°, 70 p. av. fig. et 18 tableaux. 4 fr. (Extr. du *Trattato di chimica applicata all'igiene bromatologia, ecc.*). (5397)
- KELLER (F.). — Sulla intensità orizzontale del magnetismo terrestre nei pressi di Roma, con note che riguardano le condizioni geofisiche delle località esplorate : nota. Rome, tip. Elzeviriana di Adelaide ved. Pateras. In-8°, 21 p. (4969)
- LANCIAI (G.-B.). — Teoria elementare dei fenomeni elettrici e magnetici. Volume I (Elettrostatica). Turin, tip. C. Locatelli. In-8°, 162 p. av. fig. 2<sup>r</sup>, 50. (6860)
- LUSSANA (S.). — A proposito della nota del dott. Adolfo Campetti, Della influenza della temperatura sulla velocità degli joni. Florence, tip. L. Niccolai. In-8°, 8 p. avec fig. (Extr. de la *Rivista scientifica industriale*). (9018)
- MALAGOLI (R.). — Intorno alla risoluzione di due problemi di fisica. Florence, tip. L. Niccolai. In-8°, 11 p. (Extr. du même recueil). (7790)
- Sulle valore delle costanti fisiche nei diversi sistemi di misura. Florence, tip. L. Niccolai. In-8°, 6 p. (Extr. du même recueil). (7790)
- MARCO (F.). — Le teorie eteree dell'elettricità. Milan, *L'Elettricità*. In-16°, 45 p. 50 cent. (Extr. de la revue *L'Elettricità*). (6423)
- MARTINI (T.). — Intorno al calore che si sviluppa nella umettazione delle polveri. Venise, tip. Ferrari. In-8°, 17 p. (6861)
- MAZZARA. — Lezioni di chimica, anno 1896-1897 (R. università di Parma). Parme, lit. F. Zafferi. In-8°, 213 p. (5400)
- MURANI (O.). — Luce e raggi Röntgen, con prefazione del prof. R. Ferrini. Milan, U. Hoepli. In-8°, x-392 p. av. fig. et 15 pl. 8 fr. (8205)
- RIGHI (A.). — Descrizione di una disposizione sperimentale assai semplice per la misura di spostamenti rettilinei piccolissimi : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 8 p. av. fig. (Extr. du *Rendiconto delle sessioni d. r. accad. della scienze dell'istit. di Bologna*). (5404)
- Sull'orientazione di un disco di selenite in un campo elettrico uniforme : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 11 p. av. fig. (Extr. du même recueil). (5405)
- ROVELLI (C.). — Azioni elettriche nei dielettrici. Pavie, tip. fr. Fusi. In-8°, 22 p. (8208)
- ROSSI (G.-A.). — Sulla misura delle differenze di fase nelle cor-

- renti alternative : monografia. Padoue, A. Draghi. In-8°, 203 p. av. fig. 5 fr. (7793)
- SALVOINI (E.). — Sul passaggio dell'elettricità attraverso interruzioni estremamente piccole : nota. Pérouse, Unione tipografica cooperativa. In-8°, 18 p. av. fig. (Extr. des *Atti dell'accad. medico-chirurgica di Perugia*). (8586)

3° *Minéralogie, — Géologie, — Paléontologie.*

- ACHIARDI (G. D'). — Di alcune forme cristalline della calcite di Montecatini in Val di Cecina. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 12 p. av. fig. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di sc. naturali*). (5888)
- Osservazioni sulle tormaline dell'isola del Giglio. Pise, tip. Vannucchi. In-4°, 16 p. av. planche (Extr. des *Annali delle università toscane*). (5889)
- ALESSANDRI (G. DE). — La pietra di cantoni di Rosignano e di Vignale (Basso Monferrato) : studi stratigrafici e paleontologici. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-4°, 98 p. av. 2 pl. (Extr. des *Memorie d. Museo civico di storia naturale di Milano*). (6419)
- ANCONA (G. D'). — Della chimica composizione degli scisti galestrini e di una prova di Debbio in essa eseguita. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 24 p. (Extr. des *Atti d. soc. toscana di sc. naturali*). (7326)
- ANELLI (M.). — Pullada, stazione neolitica delle morene del Benaco. Lodi, E. Wilmant. In-8°, 66 p. 1 fr. (40279)
- BARATTA (M.). — Il Vesuvio e le sue eruzioni dall'anno 79 d. C. al 1896. Rome, soc. edit. Dante Alighieri. In-16°, 203 p. av. planche. 3 fr. (7329)
- BOERIS (C.). — Sulla forma cristallina di alcuni derivati dell'aneltolo : nota. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 18 p. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia*). (4964)
- CAPELLINI (G.). — Sulla data precisa della scoperta dei minuti foraminiferi e sulla prima applicazione del microscopio all'analisi meccanica delle rocce per Jacopo Bartholommeo Beccari : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 20 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (5392)
- CHELUSSI (I.). — Brevi cenni sulla costituzione geologica di alcune località dell'Abruzzo Aquilano. Florence, tip. Baroni e Lasstrucci. In-8°, 18 p. (6858)

- FANTAPPIÉ (D.). — Nuove osservazioni su minerali dei blocchi erratici nella regione cimina. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 49 p. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia*). (7785)
- FORNASINI (C.). — Indice ragionato delle Frondicarie fossili d'Italia : studio monografico. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 15 p. (Extr. des *Memorie. d. r. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (5395)
- Note micropaleontologiche. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 20 p. av. fig. et pl. (Extr. du *Rendiconto delle sess. d. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (5396)
- FRANCO (P.). — Il meccanismo delle eruzioni e l'influenza della luna : studi. Naples, tip. dell'Accad. r. delle scienze fisiche e matematiche. In-8°, 79 p. av. fig. (9386)
- ISSEL (A.). — Compendio di geologia, col concorso dell'ing. S. Traverso. Parte II. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, av. fig., 592 p. av. 2 pl. et 4 tableaux. 8 fr. (4970)
- LA VALLE (G.). — Corso di cristallografia teorica con applicazione al calcolo dei cristalli. Rome. In-8°, 259 p. av. 10 pl. 10 fr.
- LUPO (M. DEL). — Elementi di mineralogia, litologia e geologia. Turin. In-8°, 468 p. 3 fr.
- MANASSE (E.). — Rocce ossolitiche e connesse dei monti livornesi : studio petrografico. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 20 p. av. planche. (5897)
- MARINELLI (O.). — Fenomeni carsici, grotte e sorgenti nei dintorni di Tarcento in Friuli. Udine, tip. G.-B. Doretta. In-8°, 71 p. (Extr. du journal *In Alto*). (6424)
- Alcuni recenti studi sulla geologia delle Alpi Carniche : appunti bibliografici. Udine, tip. G.-B. Doretta. In-16, 26 p. (Extr. du même journal). (8583)
- MELI (R.). — Sopra alcuni denti fossili di mammiferi (ungulati) rinvenuti nelle chiaie alluvionali dei dintorni di Roma : nota. Rome, tip. della r. accad. dei Lincei. In-8°, 12 p. (8203)
- Sulla *Eastonia rugosa* Chemn. (*Mactra*) ritrovata vivente e fossile nel litorale di Anzio e Nettuno. Modène, tip. della Soc. tipografica. In-8°, 96 p. avec planche. (8204)
- MEUNIER (F.). — Observations sur quelques insectes du Corallien de la Bavière : note. Parme, tip. M. Adorni. In-8°, 6 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista italiana di paleontologia*). (5401)
- MORENA (T.). — Il sinemuriano negli strati a *Terebratula Aspasia* dell'appennino centrale : comunicazione alla Società geologica italiana. Cagliari, tip. Balloni. In-8°, 9 p. (8585)
- RADDI (A.). — Alcune osservazioni sul terremoto del 18 maggio

- 1895 in Firenze. Palermo, tip. del Giornale di Sicilia. In-4°, 15 p. (Extr. du *Giornale scientifico di Palermo*). (7339)
- STEFANI (C. DE). — Osservazioni geologiche sul terremoto di Firenze del 18 maggio 1895. Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-4°, 32 p. av. fig. (Extr. des *Annali dell'ufficio centrale di meteorologia e geodinamica*). (10283)
- VINASSA DE REGNY (P.-E.). — I molluschi degli strati con *Serpula spirulæa* e la posizione del piano di Priabona. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 6 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di sc. naturali*). (7344)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

- GIAZZI (F.). — Bottiglia di Woullf a tappi e da tubi di sicurezza e di svolgimento manometrici : nota di fisico-chimica pratica. Pérouse, Unione tipografica cooperativa. In-8°, 3 p. av. fig. (8576)
- MASI (F.). — Le nuove vedute nelle ricerche teoriche ed sperimentali sull'attrito : determinazione del valore industriale dei lubrificanti. Bologne, N. Zanichelli. In-8°, 131 p. av. pl. (8202)
- Esperienze d'attrito. Bologne, N. Zanichelli. In-8°, 23 p. av. planche. (8384)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

- ARNÒ (R.). — Trasmissioni e distribuzioni polifasi. Turin, Unione tipografico-editrice. In-16, 54 p. av. fig. 3 fr. (9015)
- GABBA (L.). — Manuale del chimico e dell'industriale : raccolta di tabelle, di dati fisici e chimici e di processi d'analisi tecnica, ad uso dei chimici analitici e tecnici, dei direttori di fabbriche, dei fabbricanti di prodotti chimici, degli studenti di chimica, ecc. Seconda edizione ampliata ed arricchita delle tavole analitiche di H. Will. Milan, U. Hoepli. In-16, xvi-442 p. av. 11 tableaux. (7466)
- GHERSI (I.). — Leghe metalliche ed amalgame : alluminio, nichelio, metalli preziosi e imitazioni, bronzo, ottone, monete e medaglie, saldature. Milan, U. Hoepli. In-16, xii-431 p. av. fig. (7467)
- GONZALES (T.). — Sopra alcune nuove esperienze di elettro-metalurgia ; sull'esplosività dell'acetilene. Milan, tip. degli Operai. In-8°, 23 p. (9389)

- Relazioni ed analisi sul ghiaccio artificiale e naturale (Fabbrica di ghiaccio e neve in Terni). Terni, Unione tip. lit. ternana. In-4<sup>o</sup>, 48 p. (6864)
- SANTARELLI (G.). — La telegrafia senza fili sistema Marconi. Firenze, tip. L. Niccolai. In-8<sup>o</sup>, 41 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista scientifica e industriale*). (7795)
- SHROEDER (L.). — Gli accumulatori a repulsione nell'esercizio delle tramvie elettriche. Milan, tip. degli Operai. In-4<sup>o</sup>, 12 p. av. fig. (Extr. du journal *L'Industria*). (6493)
- STERZA (A.). — L'acetilene, sue ultime applicazioni al riscaldamento, all'incandescenza ed ai motori. Mantoue, tip. G. Mondovi. In-8<sup>o</sup>, 49 p. (7001)
- VENDER (V.). — La grande industria chimica: la fabbricazione dell'acido solforico, dell'acido nitrico, del solfato sodico, dell'acido muriatico. Milan, U. Hoepli. In-4<sup>o</sup>, v-342 p. avec fig. et 2 pl. (6525)

6<sup>o</sup> *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*

- GIAMPAOLI (A.). — I marmi di Carrara. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8<sup>o</sup>, 39 p. av. planche. (9388)
- HABETS (A.). — Rapport partiel sur les mines de fer de l'île d'Elbe. Livourne, tip. del Corriere toscano. 2 fasc. In-4<sup>o</sup>, 35 et 21 p. (40377)

7<sup>o</sup> *Construction. — Chemins de fer.*

- BARBERIS (L.). — Lo sviluppo della rete ferroviaria degli Stati Uniti e le sue variazioni, con prefazione di E. Mase-Dari. Turin, fr. Bocca. In-8<sup>o</sup>, viii-158 p. avec 7 pl. 4 fr. (6344)
- BORGHINO (G.-C.). — Abänderung zu den matallenen Kupplungsmuffen in den Schläuchen der Vacuum-Bremse (System Hardy): Denkschrift. Bologne, tip. G. Civelli. In-8<sup>o</sup>, 28 p. av. 13 pl. (5462)
- COLAMANICO (F.) e A. CIAMPA. — Studio di un profilo teorico per ferrovie funicolari. Naples, tip. dell'Accad. r. delle scienze. In-8<sup>o</sup>, 26 p. avec 2 pl. (40330)
- Costruttore (Il): trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell'ingegnere civile ed industriale, dell'architetto, dell'agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4000 incisioni. Milan,

- F. Vallardi. Disp. 169-182. In-4<sup>o</sup> av. fig., p. 1005-1048; p. 1-328; av. 8 pl. (6489-9074-9914)
- Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie: norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4<sup>o</sup> av. fig. Disp. 129-133: 23 p. av. 5 pl.; p. 33-48, xvi p., av. 6 pl.; p. 265-304, av. 3 pl.; p. 1-89, av. 5 pl. 2 fr. la livraison. (5008-7848-8262-8632)
- FERRERA (L.). — Influenza delle rampe sul servizio di trazione nell'esercizio delle strade ferrate. Naples, tip. F. Giannini e figli. In-8<sup>o</sup>, 20 p. (7419)
- GRECHI (C.). — Locomotive a tagliavento. Florence, tip. L. Niccolai. In-8<sup>o</sup>, 17 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista scientifica e industriale di Firenze*). (6936)
- GUIDI (C.). — Lezioni sulla scienza delle costruzioni. Parte IV (Teoria dei ponti). Seconda edizione. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8<sup>o</sup>, viii-355 p. av. fig. et 5 pl. (5009)
- MOLA (D.). — La ferrovia del Sempione: note (Comitato per la ferrovia del Sempione). Milan, tip. Giussani e Manzoni. In-8<sup>o</sup>, 43 p. (9913)
- Note ed appunti sulla trazione per ferrovia valendosi dell'elettricità come forza motrice, tanto con il sistema Cattori, quanto con altri sistemi [per il dott. A. B.]. Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-8<sup>o</sup>, 20 p. (7423)
- Relazione sull'esercizio delle strade ferrate per l'anno 1891 (Ministero dei lavori pubblici: r. ispettorato generale delle strade ferrate). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8<sup>o</sup>, vii-727 p. (9914)
- ROSSI (A.). — Notizie e studi sulla spesa d'esercizio e sulla quantità di personale delle ferrovie italiane ed estere. Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-8<sup>o</sup>, 66 p. (40333)
- Spesa d'esercizio e quantità di personale delle principali reti ferroviarie italiane e di alcune reti estere: ricerche statistiche. Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-4<sup>o</sup>, 261 p. (40334)
- TAMANI (F.). — Studi sulle ferrovie funicolari. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8<sup>o</sup>, 70 p. av. fig. (Extr. de *L'Ingegneria civile e le arti industriali*). (5470)
- Un nuovo freno automatico per ferrovie funicolari. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8<sup>o</sup>, 15 p. av. fig. (Extr. du même recueil). (5965)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

- BOSIO (E.) et C. BARZANÒ. — Remarques sur les conditions de la protection de la propriété industrielle en Italie; situation faite aux étrangers: rapport (Association internationale pour la protection de la propriété industrielle: premier congrès, Vienne, 1897). Milan, impr. H. Reggiani. In-8°, 18 p. (9092)
- FABRIS (R.). — Essai statistique sur les accidents du travail (Congrès international des accidents du travail et des assurances sociales, 4<sup>e</sup> session, Bruxelles, 1897). Milan, impr. H. Reggiani. In-8°, 27 p. (6350)
- MAGALDI (V.). — Sur la récente phase législative de la protection des ouvriers contre les accidents du travail en Italie (Congrès international des accidents du travail et des assurances sociales, 4<sup>e</sup> session, Bruxelles, 1897). Milan, impr. H. Reggiani. In-8°, 34 p. (6356)
- Regolamento per l'esercizio e la sorveglianza delle caldaie a vapore, 27 giugno 1897 (Associazione dei possessori di caldaie a vapore nelle provincie dell'Emilia e delle Marche). Bologne, soc. tip. Azzoguidi. In-8°, 16 p. (7488)
- Regolamento per l'esercizio e per la sorveglianza delle caldaie e dei recipienti di vapore (Ministero di agricoltura, industria e commercio: divisione industria e commercio). Pavie, tip. succ. Bizzoni. In-8°, 24 p. (40396)

9° *Objets divers.*

- BOCCARDO (E.-C.) e V. BAGGI. — Trattato elementare completo di geometria pratica. Disp. 49-52. Parte II (Topografia). Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 321-452, av. 16 pl. 1',60 la livraison. (4963-6853-8572-9016)
- CRUGNOLA (G.). — Dizionario tecnico di ingegneria e di architettura nelle lingue italiana, francese, inglese e tedesca, compresi le scienze, arti e mestieri affini. Parte I, disp. 72-74. Turin, A.-F. Negro. In-8°, p. 463-608. (6933-9441)
- EREDA (G.). — Manuale di geometria pratica. Terza edizione riveduta e aumentata. Milan, U. Hoepli. In-16°, XII-258 p. (6934)
- RUFFINI (A.). — Di un apparecchio micro-fotografico e di un nuovo metodo per eseguire micro-fotografie colla luce del giorno riflessa dallo specchio del microscopio. Florence, stab. tip. Fiorentino. In-8°, 6 p. av. fig. (Extr. du *Monitore zoologico italiano*). (7794)

## LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS  
FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des Mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1897, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — ROYAL SOCIETY OF LONDON. *Londres.*
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — SOCIETÀ TOSCANA DI SCIENZE NATURALI. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Milan.*
10. — SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOC. D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH-KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — . . . . .
18. — The Colliery Guardian and Journal of the Coal and Iron Trades. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH. *Édimbourg.*
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Étienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Brunswick.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITECTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift des ARCHITECTEN- UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*
27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*

28. — Berg-und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE, *Berlin.*
33. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*
34. — BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
35. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston.*
36. — SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE NORMANDIE. *Caen.*
37. — COMITÉ GÉOLOGIQUE DE LA RUSSIE. *St-Petersbourg.*
38. — Bulletin of the GEOLOGICAL INSTITUTION OF THE UNIVERSITY OF UPSALA. *Upsal.*
39. — KÖNIGLICHE UNGARISCHE GEOLOGISCHE ANSTALT. *Buda-Pesth.*
40. — The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.
44. — Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LOEBEN UND PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pennsylvania).*
48. — REALE ACCADEMIA DEI LINCEI. *Rome.*
49. — AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *New-York.*
50. — ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.
51. — COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — . . . . .
54. — L'Électricien, revue générale d'électricité. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*
56. — Le Génie civil. *Paris.*
57. — Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
58. — Annales de la SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE. *Liège.*
59. — UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Washington.*
60. — INSTITUT ROYAL GÉOLOGIQUE DE SUÈDE. *Stockholm.*
61. — . . . . .
62. — Revue de la législation des mines. *Paris.*

63. — DIRECTION DES TRAVAUX GÉOLOGIQUES DU PORTUGAL. *Lisbonne.*
64. — . . . . .
65. — K. K. NATURHISTORISCHER HofMUSEUM. *Vienne.*
66. — COLLEGE OF SCIENCE, Imperial University, Japan. *Tokyo.*
67. — KAIS. LEOPOLDINISCH-CAROLINISCHE DEUTSCHE AKADEMIE DER NATURFORSCHER. *Halle-sur-Saale.*
68. — Annales de la FACULTÉ DES SCIENCES DE TOULOUSE.
69. — NEW-YORK ACADEMY OF SCIENCES. *New-York.*
70. — INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. *Londres.*
71. — Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz. *Berne.*
72. — DEPARTMENT OF MINES OF NEW SOUTH WALES. *Sydney.*
73. — Revue générale des sciences pures et appliquées. *Paris.*
74. — The SCHOOL OF MINES Quarterly. *New-York.*
75. — GEOLOGICAL AND NATURAL HISTORY SURVEY OF CANADA. *Ottawa.*
76. — La Réforme sociale. *Paris.*
77. — SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS. *Paris.*
78. — Bulletin of the GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. *Rochester (N.-Y.).*
79. — COMMISSION INTERNATIONALE DU CONGRÈS DES CHEMINS DE FER. *Bruzelles.*
80. — ASSOCIATION AMICALE DES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES. *Paris.*
81. — Zeitschrift für praktische Geologie. *Berlin.*
82. — The Journal of Geology, UNIVERSITY OF CHICAGO.
83. — Bulletin of the Department of Geology, UNIVERSITY OF CALIFORNIA. *Berkeley.*
84. — Bulletin de l'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS-ÉLECTRICIENS sortis de l'Institut électro-technique Montefiore. *Liège.*
85. — SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE. *Bruzelles.*
86. — La Revue Technique. *Paris.*
87. — AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY. *New-York.*
88. — Journal of the SOCIETY OF CHEMICAL INDUSTRY. *Londres.*
89. — Bulletin technologique de la SOCIÉTÉ DES ANCIENS ÉLÈVES DES ÉCOLES NATIONALES D'ARTS ET MÉTIERS. *Paris.*

## TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DOUZIÈME.

## EXPLOITATION DES MINES. — GÎTES MINÉRAUX.

	Pages.
Note sur les travaux de recherche exécutés à Meymac; par M. P.-L. Burthe.....	5
Contribution à l'étude des gîtes métallifères. I. Sur l'importance des gîtes d'inclusions et de ségrégation dans une classification des gîtes métallifères. — II. Sur le rôle des phénomènes d'altération superficielle et de remise en mouvement dans la constitution de ces gisements; par M. L. de Launay.....	449
Étude sur les gîtes minéraux de la Corse; par M. Nentien..	231
Commission du grisou. — Sur la lampe de sûreté à rallumeur système Laune.	
I. — Rapport présenté à la Commission par M. G. Chesneau.....	353
II. — Avis de la Commission du grisou.....	359
Note sur les sources minérales de Pougues (Nièvre); par M. G. Friedel.....	389

## CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1893 par les ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.....	87
--	----

## MÉCANIQUE. — MACHINES.

	Pages.
Remarques et expériences à l'occasion d'un manque d'eau dans un générateur de vapeur; par M. C. Walckenaer....	104
Théorie mathématique de la machine à vapeur. — Action des parois; par M. J. Nadal.....	297
Note sur les chocs dans les tuyautages d'alimentation des chaudières; par M. Moritz.....	513
Note au sujet de l'alimentation des chaudières dans la vapeur; par M. Raymond.....	533
De l'emploi des boulons à charnière pour maintenir les obturateurs amovibles de certains récipients de vapeur; par MM. E. Polonceau et C. Walckenaer.....	546
Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1896.....	638

## CHEMINS DE FER.

Étude sur les enclenchements entre leviers servant à la manœuvre des signaux, aiguilles, etc., des chemins de fer, par feu M. Massieu; revue et publiée par M. Louis Etienne.....	360
— Suite et fin.....	457

## OBJETS DIVERS.

Saturation hygrométrique de l'écorce du globe. Détermination de l'eau de carrière. Diminution de la résistance des roches imbibées d'eau; par M. O. Keller.....	32
---	----

## BULLETIN.

	Pages.
Industrie minérale de la Russie en 1895.....	447
Production du pétrole et de l'ozokérite en Galicie pendant l'année 1895.....	448
Statistique de l'industrie minérale des États-Unis en 1895 et en 1896.....	229
Production du cuivre brut, du zinc, de l'étain, du nickel et de l'antimoine dans le monde de 1890 à 1896.....	350
Statistique de l'industrie minérale du Canada en 1896.....	450
Les gîtes d'or de la Klondike River.....	451
Statistique de l'industrie minérale de l'Allemagne et du Luxembourg en 1895 et en 1896.....	587
Statistique de l'industrie minérale de la Bavière en 1896.....	588
Actes de courage et de dévouement : accidents survenus dans les mines et carrières.....	658
Statistique de l'industrie minérale de la Belgique en 1896.....	660

*Législation étrangère.*

Colonie Allemande de l'Afrique orientale.....	455
---	-----

## BIBLIOGRAPHIE.

*Deuxième semestre de 1897.*

Ouvrages français.....	667
Ouvrages anglais.....	684
Ouvrages américains.....	690
Ouvrages allemands.....	691
Ouvrages suisses.....	696
Ouvrages hollandais.....	697
Ouvrages russes.....	697
Ouvrages espagnols.....	697
Ouvrages italiens.....	697

Liste des échanges autorisés entre les <i>Annales des Mines</i> et les publications françaises et étrangères.....	707
---	-----

## EXPLICATION DES PLANCHES

## DU TOME DOUZIÈME.

- Pl. I, II et III. — Travaux de recherches exécutés à Meymac.
- Pl. IV. — Remarques et expériences à l'occasion d'un manque d'eau dans un générateur de vapeur.
- Pl. V. — Carte des gîtes minéraux de la Corse.
- Pl. VI. — Enclenchements entre leviers servant à la manœuvre des signaux, aiguilles, etc., des chemins de fer.
- Pl. VII. — Sources minérales de Pougues.
- Pl. VIII, IX et X. — Accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1896.

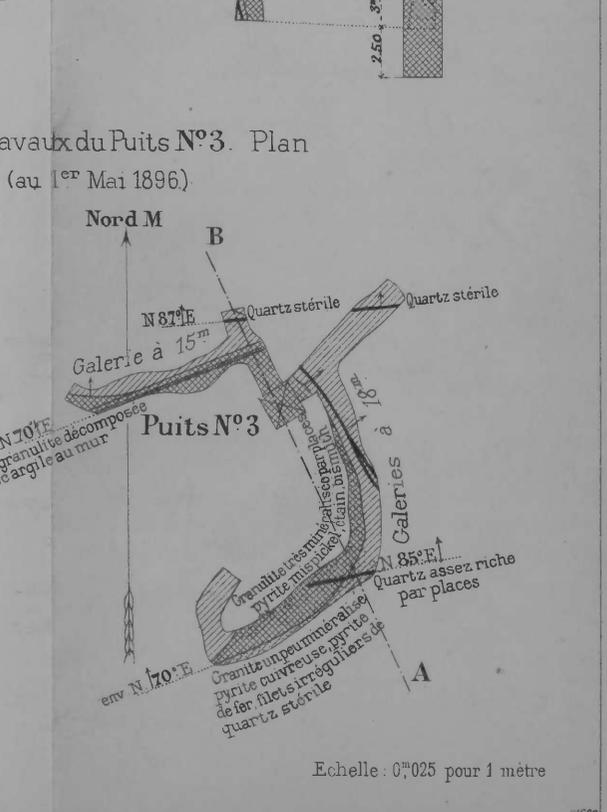
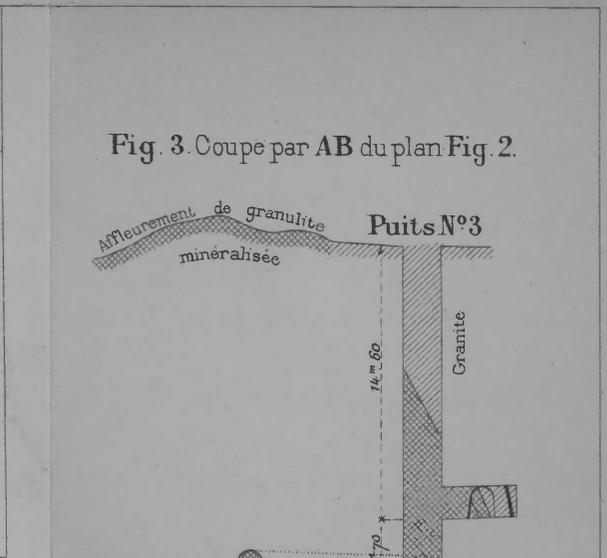
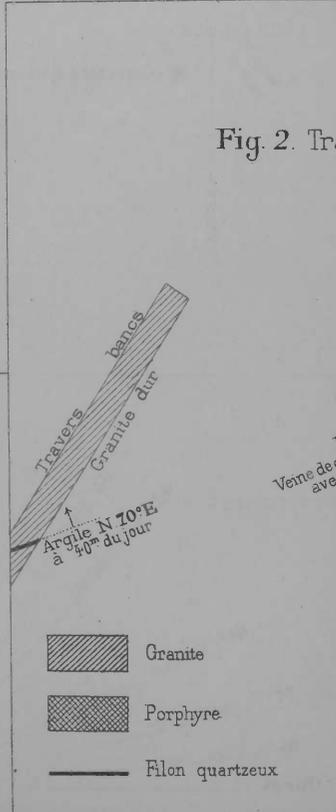
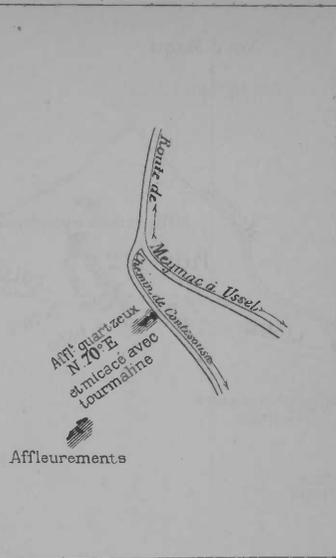
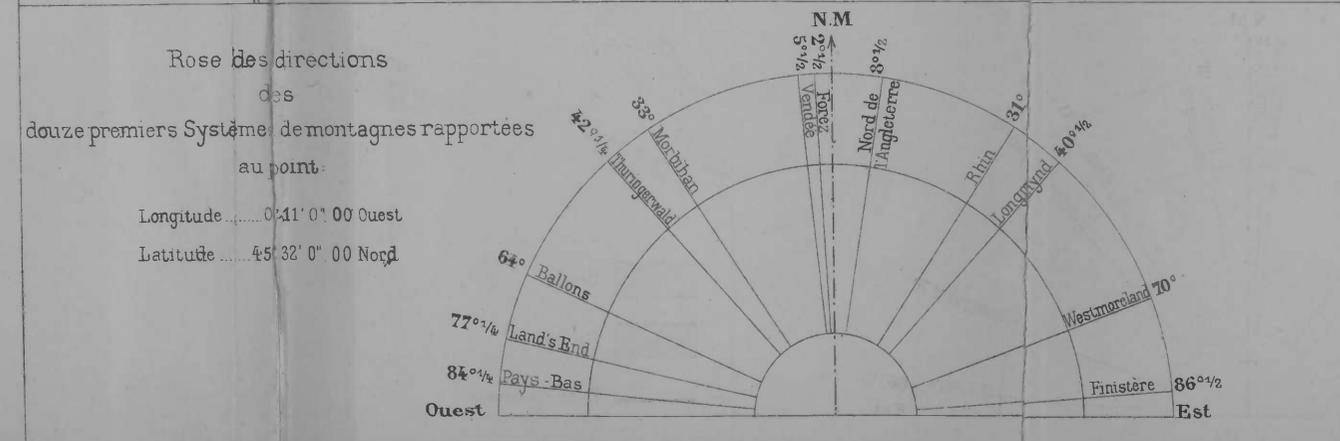
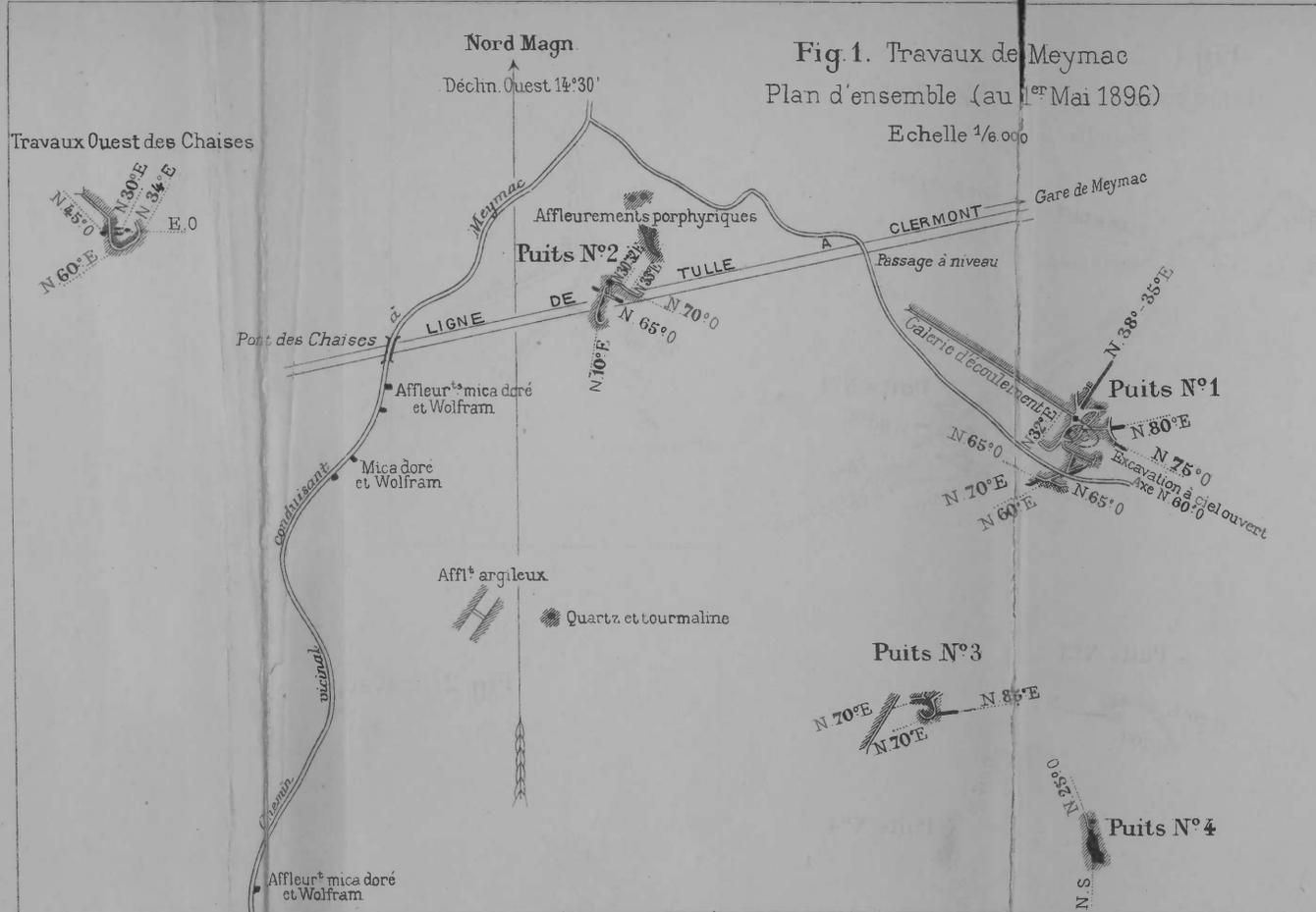
---

TOURS

IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

6, rue Gambetta

---



# GÎTES MINÉRAUX

Fig. 1. — Meymac — Travaux du Puits N°1.

(au 1<sup>er</sup> Mai 1896)

Plan du niveau 24<sup>m</sup>

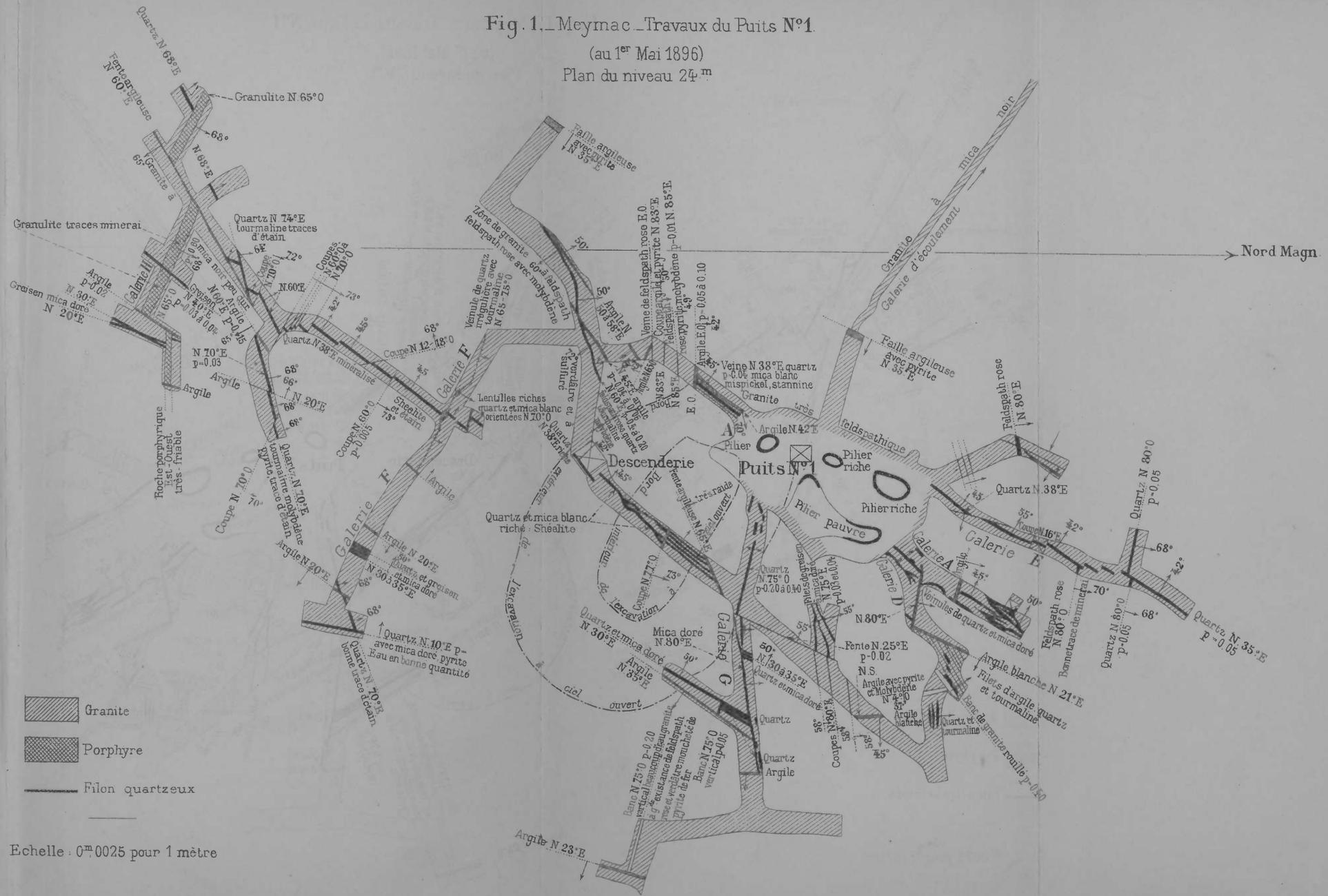


Fig. 1. Puits N°4. Plan à 6<sup>m</sup>.50 de profondeur  
(au 1<sup>er</sup> Mai 1896)

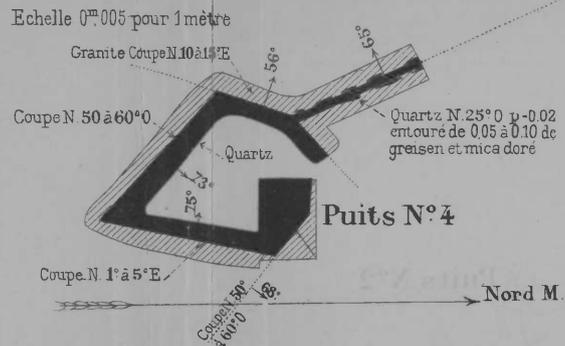


Fig. 2. Travaux à l'Ouest du Hameau des Chaises  
(au 1<sup>er</sup> Mai 1896)

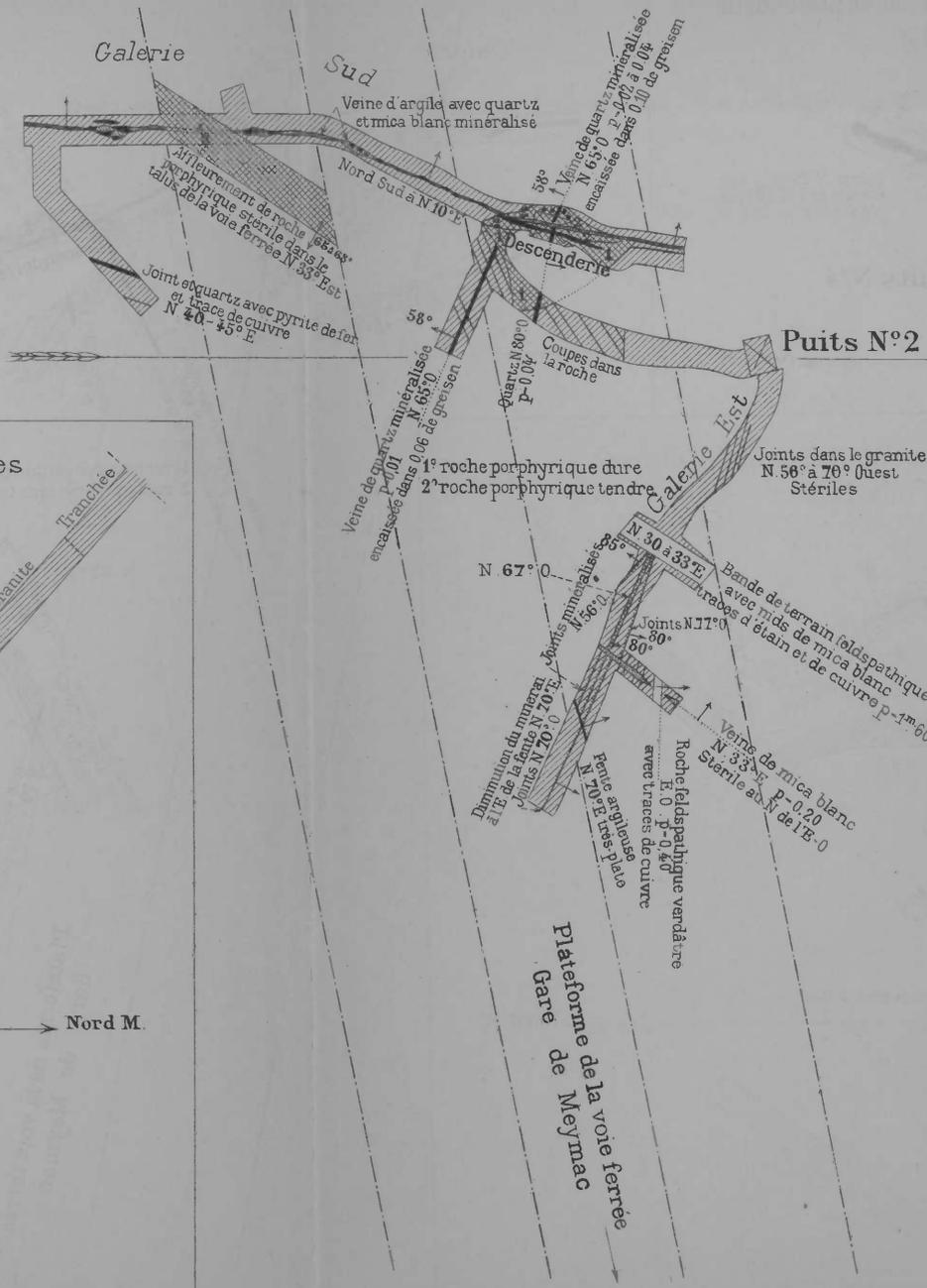
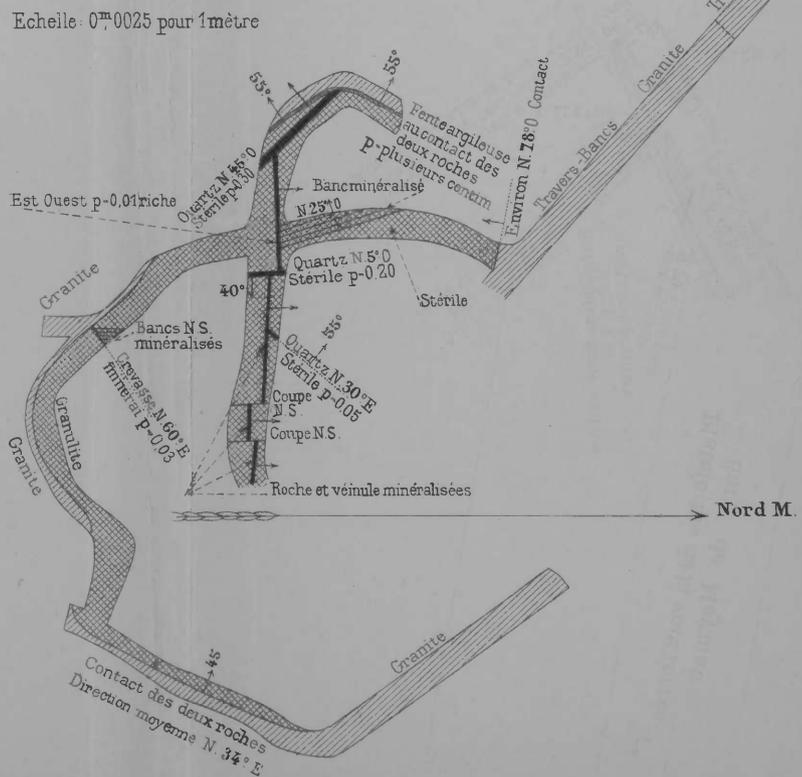


Fig. 3. Travaux du Puits N°2  
(au 1<sup>er</sup> Mai 1896)

Plan des galeries au niveau de 21 mètres  
Echelle de 0<sup>m</sup>.0025 p<sup>r</sup> 1mètre

-  Granite
-  Porphyre
-  Filon quartzeux

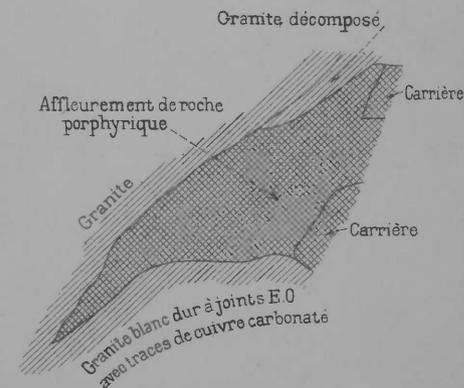


Fig. 1.

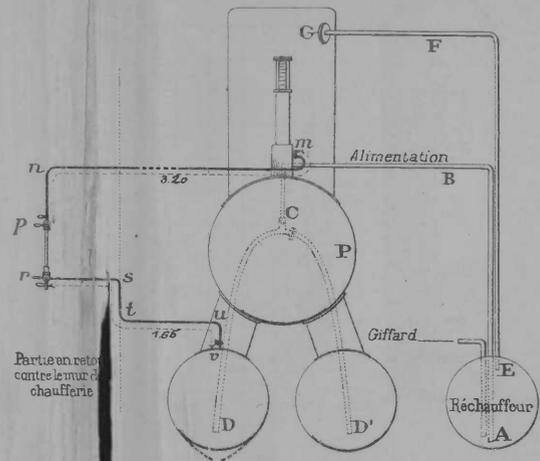


Fig. 2.

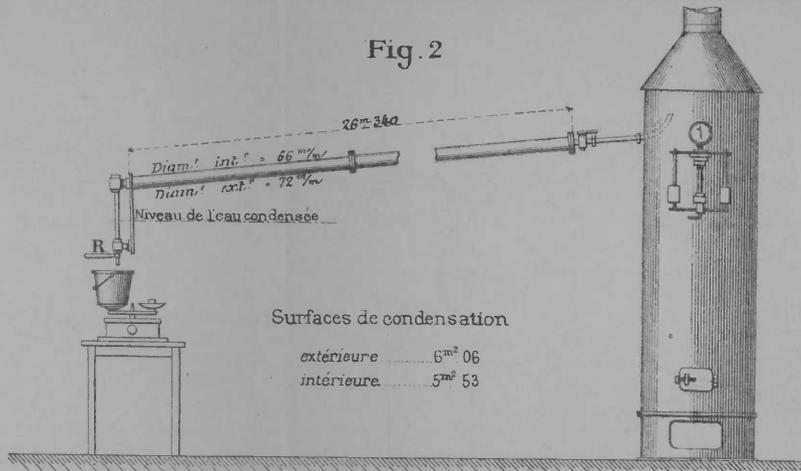


Fig. 3.

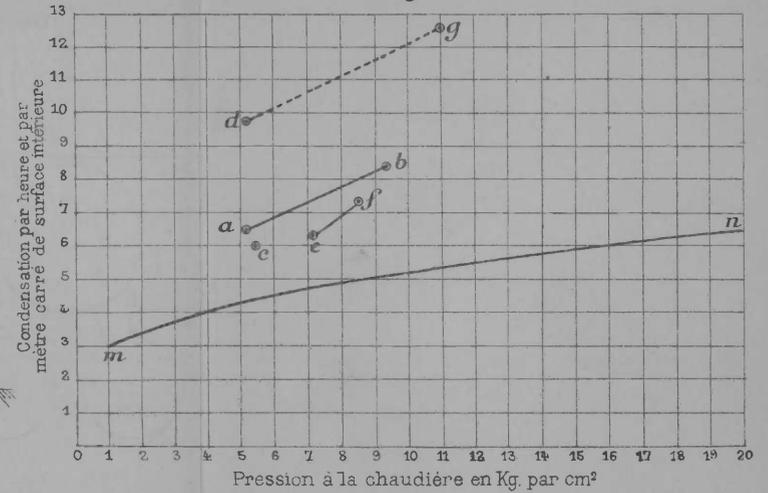


Fig. 5.

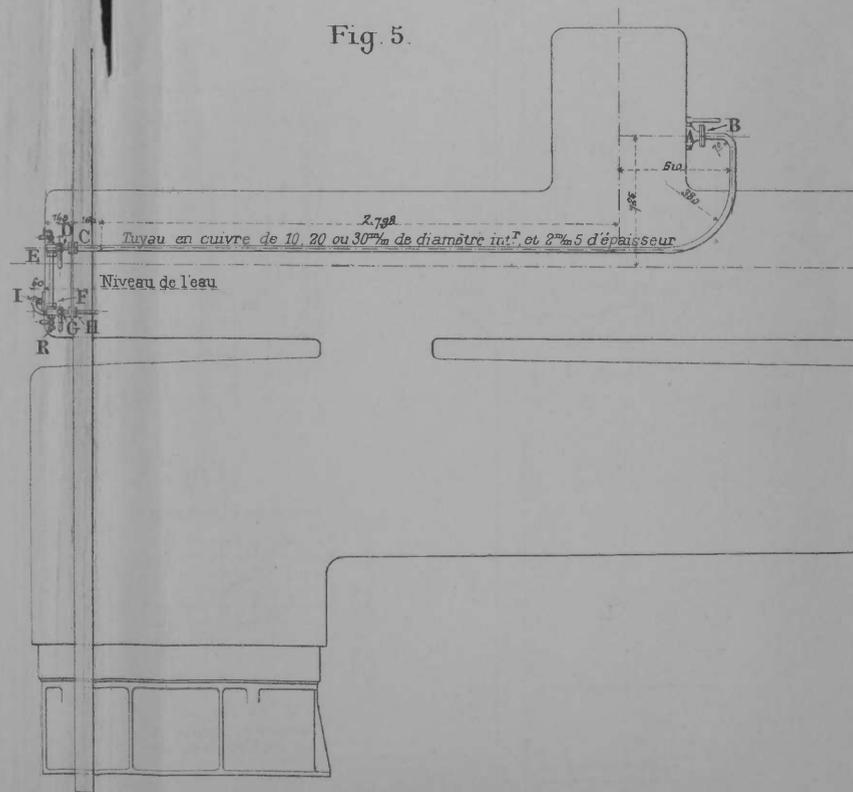


Fig. 6.

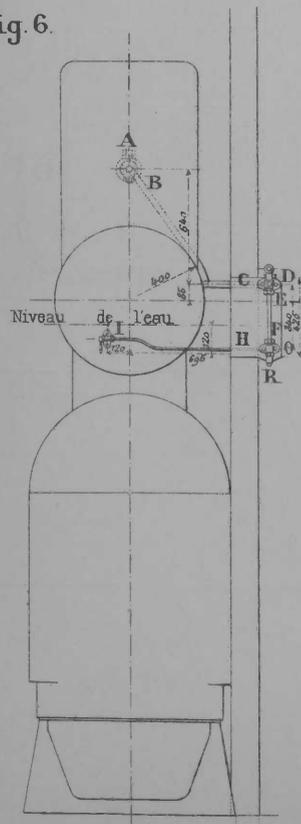


Fig. 4.

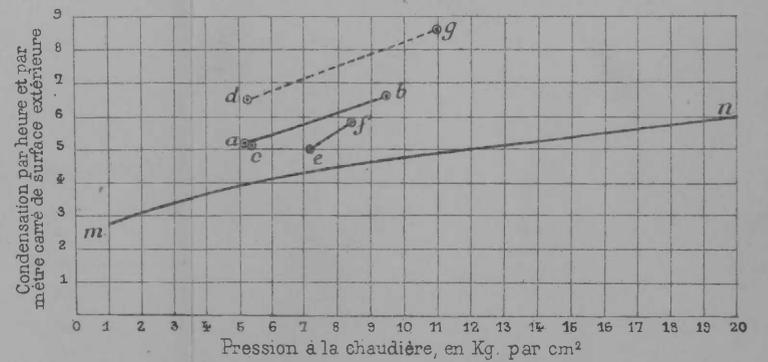


Fig. 7.

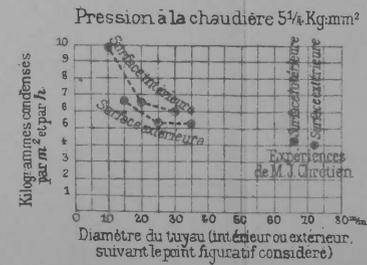
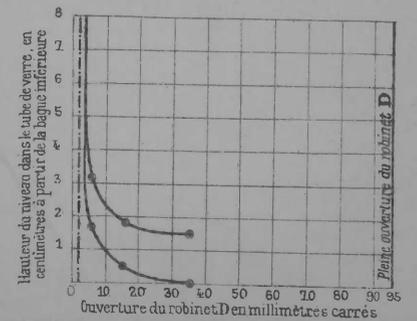
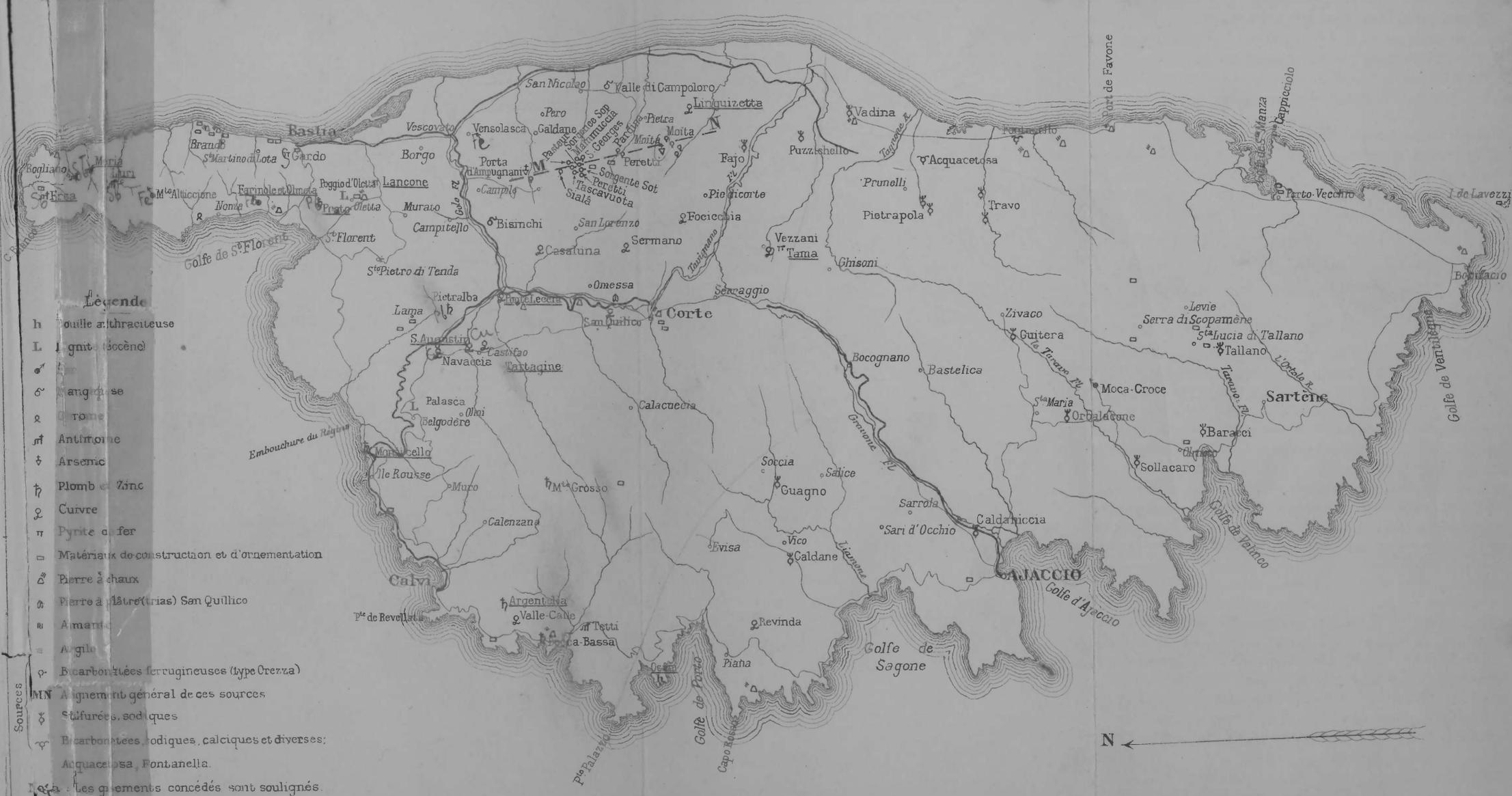


Fig. 8.



CARTE DES GITES MINÉRAUX DE LA CORSE



Legende

- h Houille anthraciteuse
- L Lignite (Socend)
- ☉ Fer
- ☉ Manganeuse
- ☉ Chrome
- ☉ Antimoine
- ☉ Arsenic
- ☉ Plomb et Zinc
- ☉ Cuivre
- ☉ Pyrite de fer
- ☐ Matériaux de construction et d'ornementation
- ☉ Pierre à chaux
- ☉ Pierre à bâtir (trias) San Quillico
- ☉ Amiante
- ☉ Argile
- ☉ Bicarbonatées ferrugineuses (type Crezza)
- ☉ Alignement général de ces sources
- ☉ Sulfurées, sodiques
- ☉ Bicarbonatées, sodiques, calciques et diverses;
- ☉ Acquacetosa, Fontanella.
- ☉ Les gisements concédés sont soulignés.

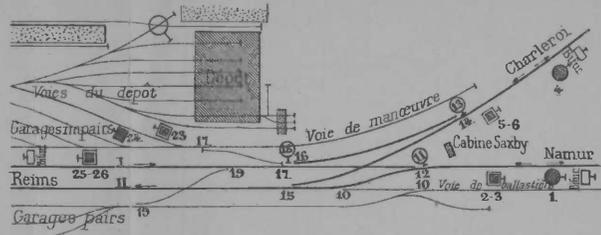
Echelle 1/640.000

GARE DE GIVET. — POSTE SAXBY établi à la bifurcation des lignes de Givet à Namur et à Charleroi.

Tableau de dépeillement des enclenchements

Abréviations

Schéma indiquant la position normale des appareils (C)



Plaque indicatrice des leviers

Table with 27 columns representing levers and rows for different states (Ouvert, Fermé) and functions (Voies, Verrou, etc.).

Main table of binary interlocking (Enclenchements binaires simples) showing lever numbers and their corresponding track connections.

Table of abbreviations (V.L., A, C.C., A.le, J, V, N.n, R.r, D.d) and their meanings in railway signaling.

Tableau d'enclenchement (A)

Table of interlocking (Enclenchement) showing lever numbers and their functions in various states.

Enclenchements conditionnels

Text explaining conditional interlocking conditions, such as '11 renversé enclenche 12 renversé, si 16 est normal'.

Nomenclature des appareils

Nomenclature of devices (Nomenclature des appareils) listing device numbers, functions, and normal positions.

Tableau à double entrée des enclenchements (B)

Double-entry interlocking table (Tableau à double entrée) showing the relationship between levers and devices.

Enclenchements binaires doubles

Table of binary double interlocking (Enclenchements binaires doubles) showing specific lever connections.

Enclenchements conditionnels

Table of conditional interlocking (Enclenchements conditionnels) showing lever connections under specific conditions.

Fig. 1. Coupe E-O par le Moulin à vent

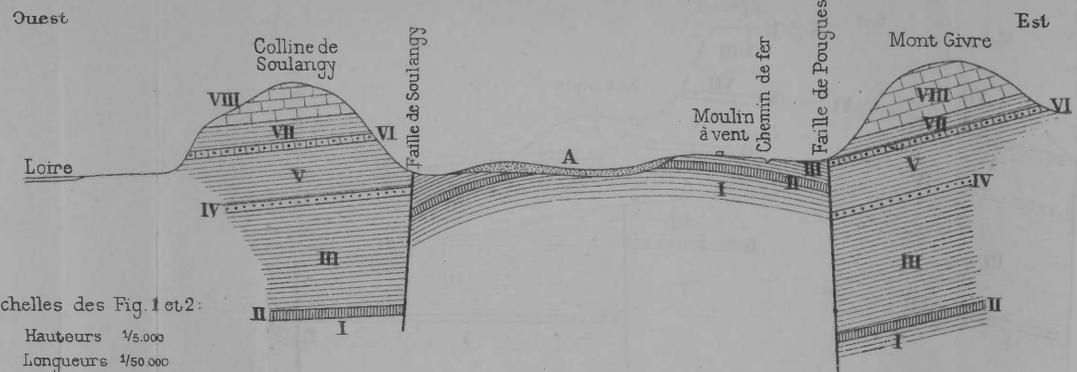
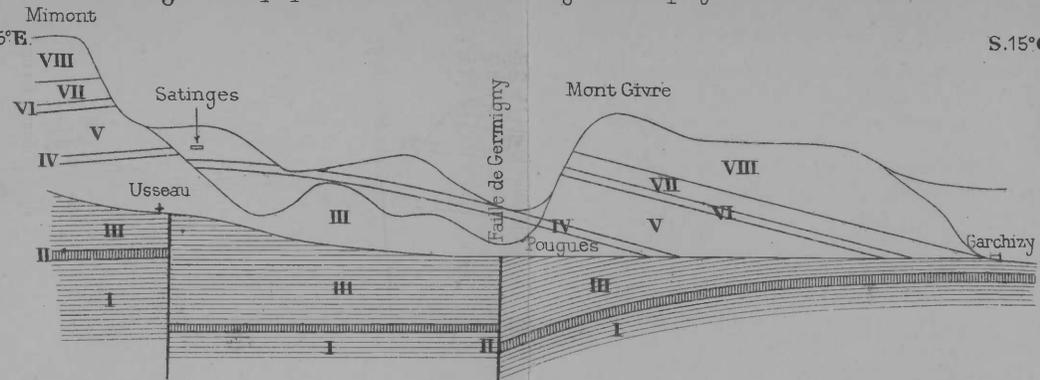
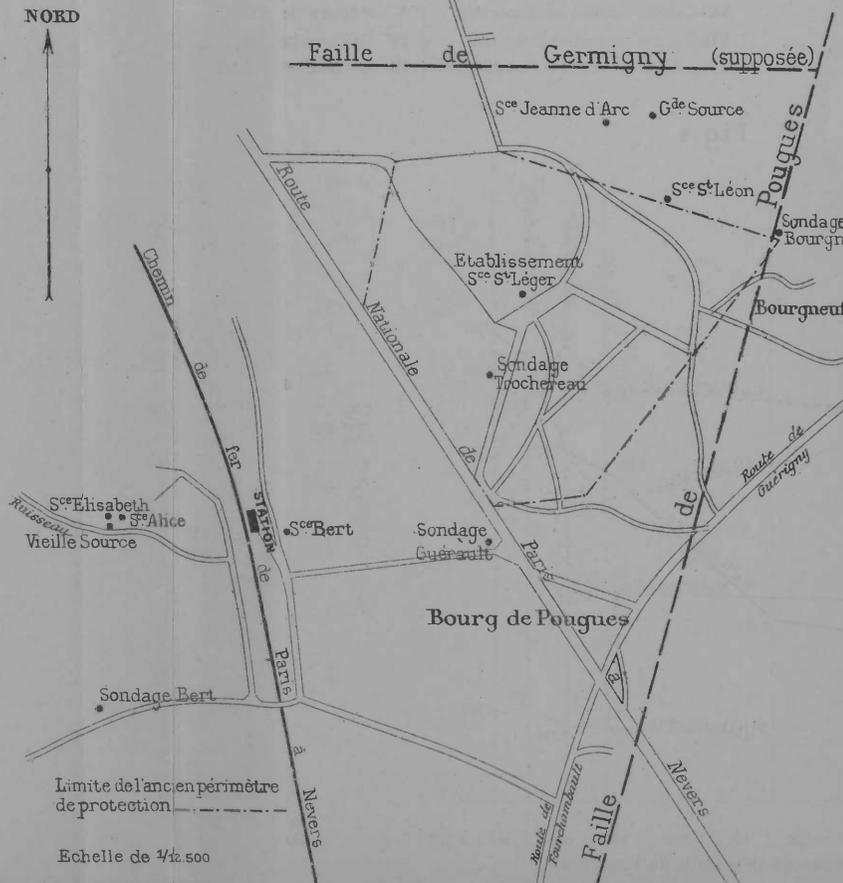


Fig. 2. Coupe parallèle à la faille de Pougues, avec projection des collines de l'Est



Echelles des Fig. 1 et 2:  
Hauteurs 1/5.000  
Longueurs 1/50.000

Fig. 3



Légende

- VIII Calcaire callovien supérieur
- VII Marnes callovien inférieur
- VI Calcaire à entroques supérieur
- V Marnes blanches bath<sup>n</sup> sup<sup>r</sup>
- IV Calcaire bathonien moyen
- III Marnes bath<sup>n</sup> inf<sup>r</sup> et baj<sup>n</sup> sup<sup>r</sup>
- II Calcaire à entroques baj<sup>n</sup> inf<sup>r</sup>
- I Marnes du lias
- A Alluvions sableuses

Fig. 4

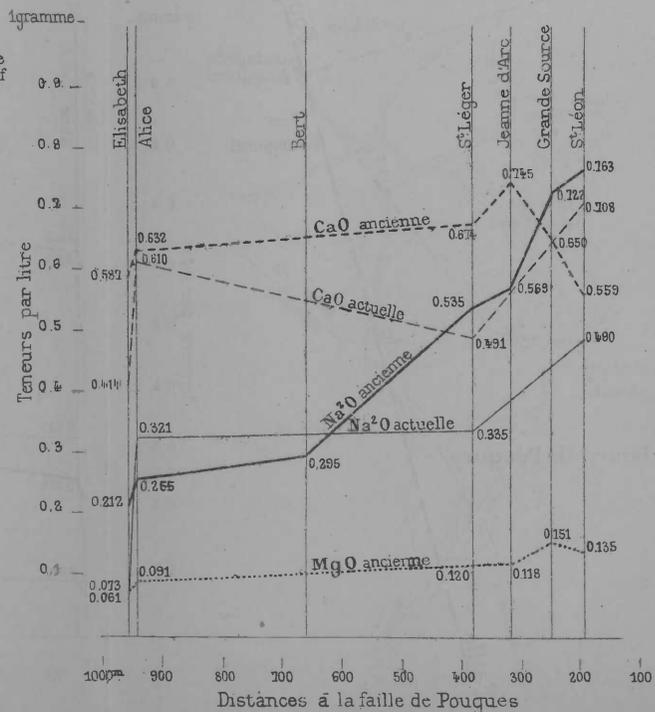


Fig. 5

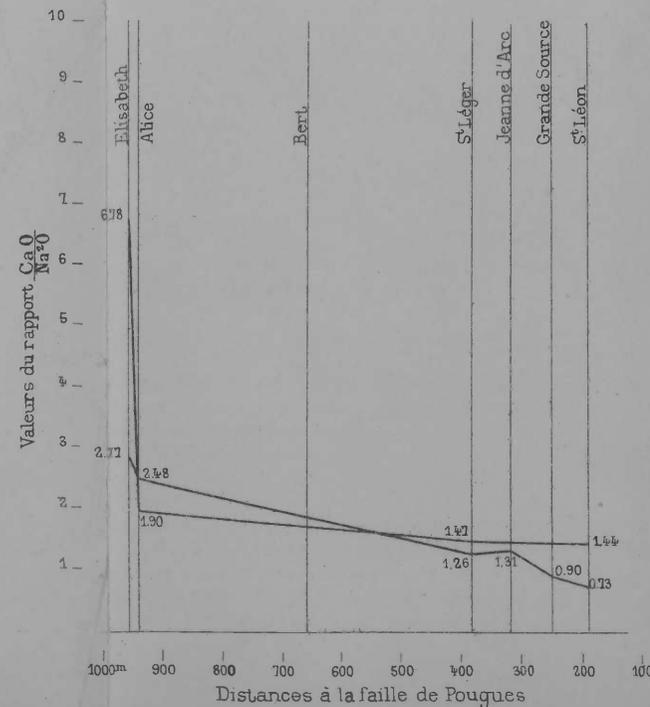


Fig. 1. Chaudière marine de mauvaise forme et inaccessible à la visite complète intérieure

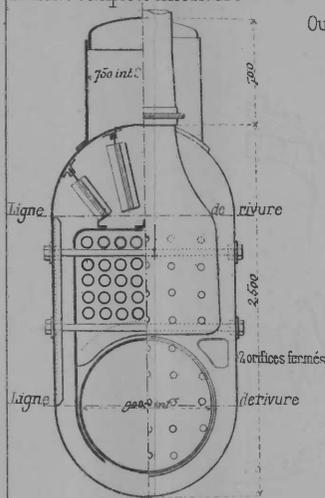


Fig. 2. Vue latérale et développement de la partie de la chaudière arrachée fig. 1.

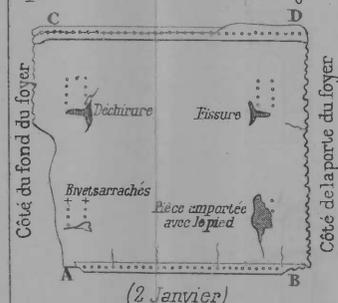


Fig. 4. Ouverture de la virole d'avant de l'un des bouilleurs d'une chaudière chauffée dans l'état de complet manque d'eau (31 février)

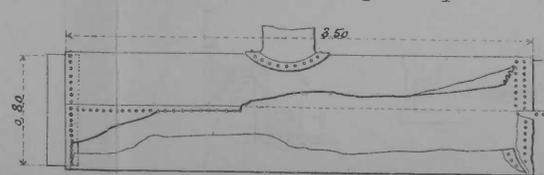


Fig. 3. Ouverture d'un tube de chaudière Babcock Wilcox par suite d'entrattement (12 Janvier)



Fig. 6. Mauvais état et réparation vicieuse d'un ciel de foyer (4 Février)

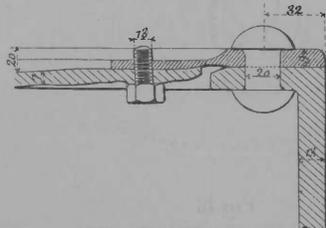


Fig. 9. Constitution défectueuse d'un assemblage (Ajustage conique arrêté dans sa mise en place par la butée d'un tôle intérieure) (6 Février)

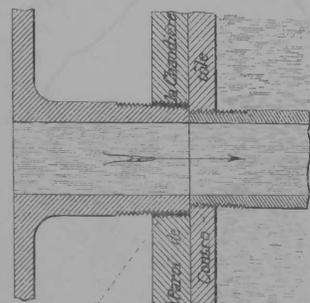


Fig. 5. Coupe de la chaudière dont le foyer était dans le mauvais état représenté Fig. 6.

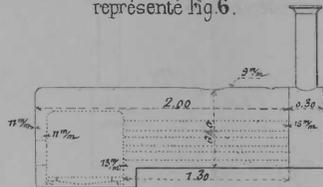


Fig. 16. Détail de la partie corrodée (26 Mars)

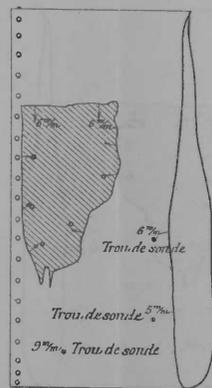


Fig. 7. Vue partielle de la façade d'arrière d'une chaudière de Naeyer montrant en A le boulon à ancre dont la rupture s'est produite comme Fig. 8

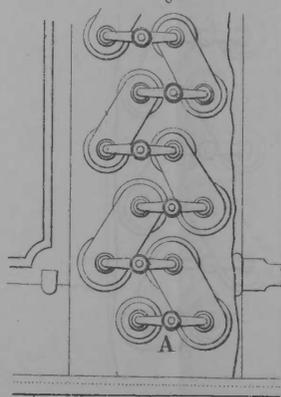


Fig. 8. Rupture d'un boulon à ancre de chaudière de Naeyer (5 Février)

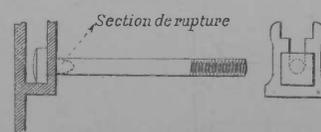


Fig. 10 à 13. Ecrasement d'un foyer intérieur de chaudière verticale (24 Février)

Fig. 10

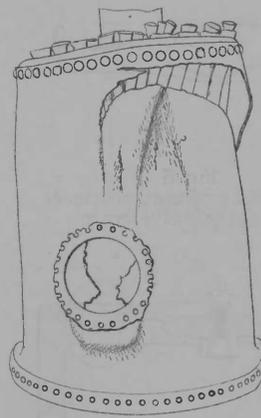


Fig. 11

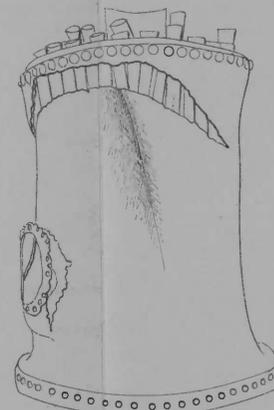


Fig. 12

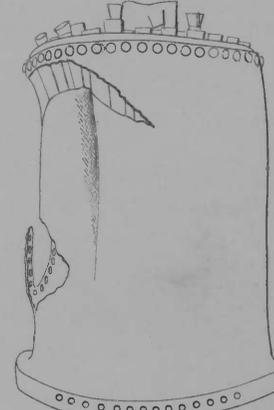


Fig. 14. Coupe de l'extrémité arrière d'un générateur à flamme renversée montrant en A l'emplacement d'une corrosion (26 Mars)

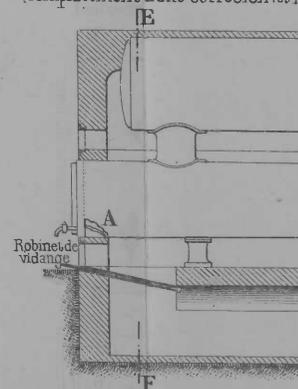


Fig. 17. Tampon autoclavé de forme vicieuse

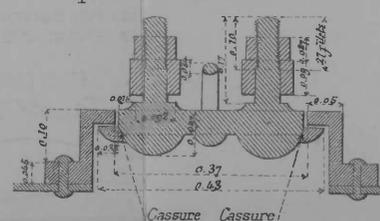


Fig. 15. Coupe suivant EF de la Fig. 14

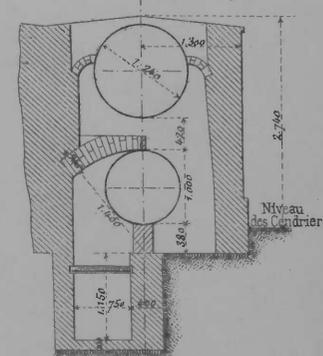


Fig. 18. Rupture d'un tampon dont la coupe est donnée Fig. 17. (7 Avril)

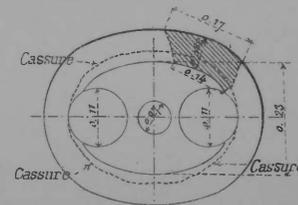


Fig. 19. Détail des assemblages d'une chaudière de Naeyer

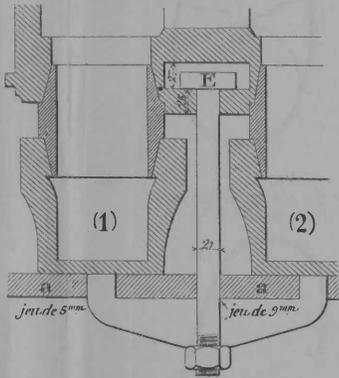


Fig. 20

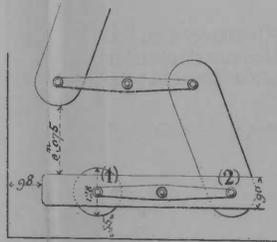


Fig. 21

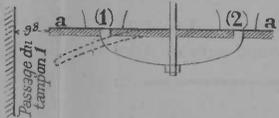


Fig. 28. Fissurations dans le congé périphérique d'un fond embouti de mauvaise forme (19 Mai)

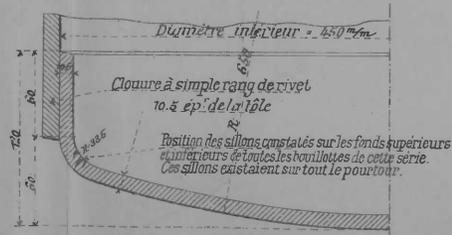


Fig. 19 à 23. Projection d'un tampon de chaudière de Naeyer par suite du dégageant de l'ergot d'un boulon à ancre (12 Avril)

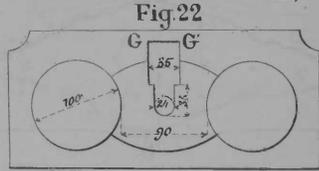


Fig. 23

Boulon. Détail

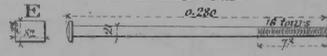


Fig. 29. Coupe d'une tubulure de fonte présentant dans la partie AB de son fond un défaut d'épaisseur

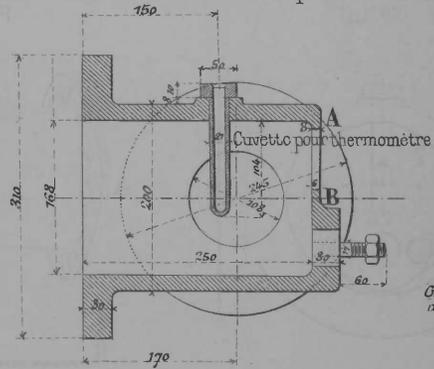


Fig. 34.

Cylindre lessiveur avec orifice de chargement de dimensions considérables et mal armaturé (23 Mai)

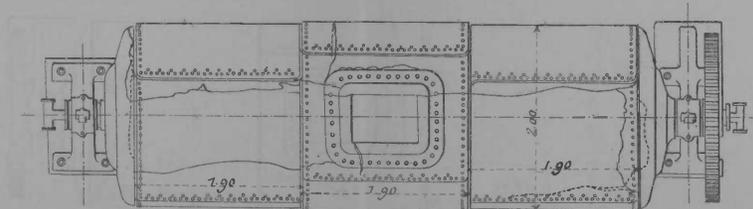


Fig. 24. Ouverture d'un tube Belleville par suite d'altération du métal (17 Avril)

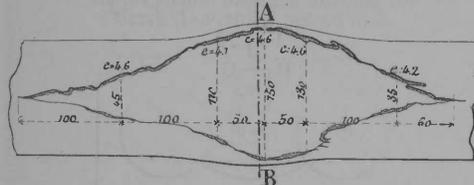


Fig. 26. Ouverture par suite de surchauffe d'un tube Belleville de grand diamètre (23 Avril)

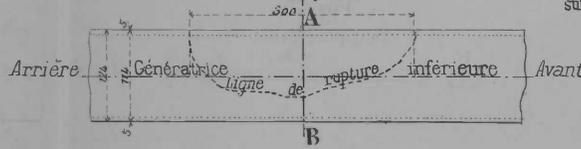


Fig. 30

Vue de face montrant la brèche du fond de la tubulure Fig. 29. (20 Mai)

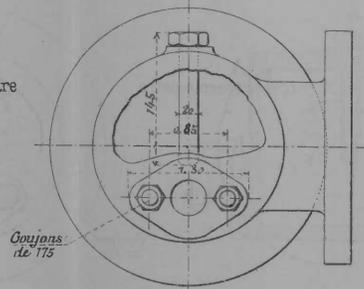


Fig. 25. Coupe suivant AB de la Fig. 24.

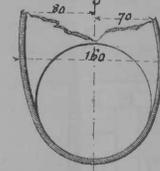


Fig. 27. Coupe d'un tube après l'explosion suivant la ligne AB de la Fig. 26.

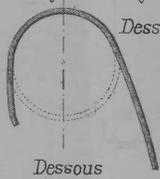


Fig. 35. Coupe transversale de l'orifice de chargement du lessiveur Fig. 34

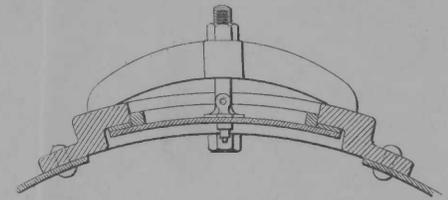


Fig. 38

Décollement de soudure d'un tube vaporisateur mal fabriqué (17 Août)

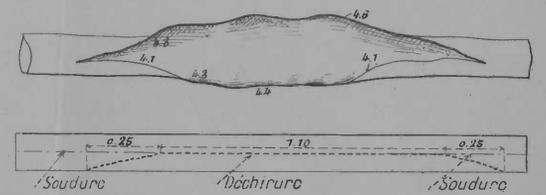


Fig. 31. Elevation d'un bouilleur transversal (à l'intérieur d'une chaudière verticale) profondément corrodé (23 Mai)

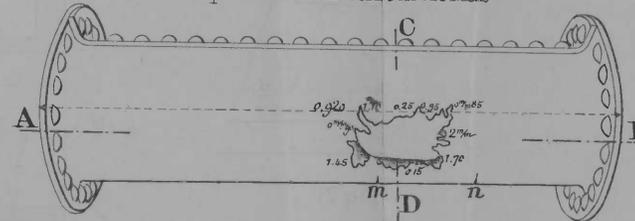


Fig. 33.

Coupe suivant AB de la Fig. 31.

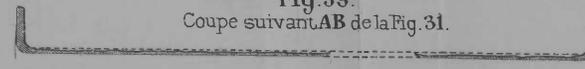


Fig. 32

Coupe suivant CD de la Fig. 31

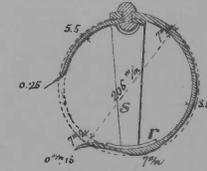


Fig. 36. Détails divers relatifs à la détérioration périphérique d'un fond embouti (19 Juillet)

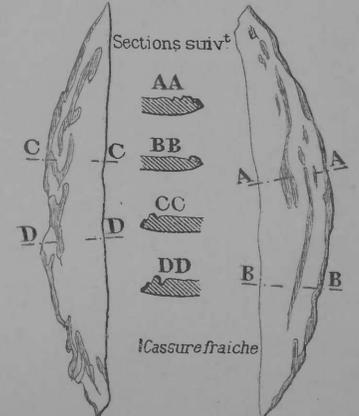


Fig. 37. Coupe transversale en un point de la périphérie du fond Fig. 36.

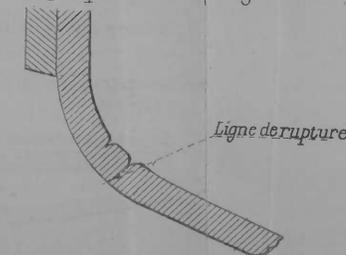


Fig. 39. Disposition vicieuse d'un tube indicateur de niveau de l'eau (5 Octobre)

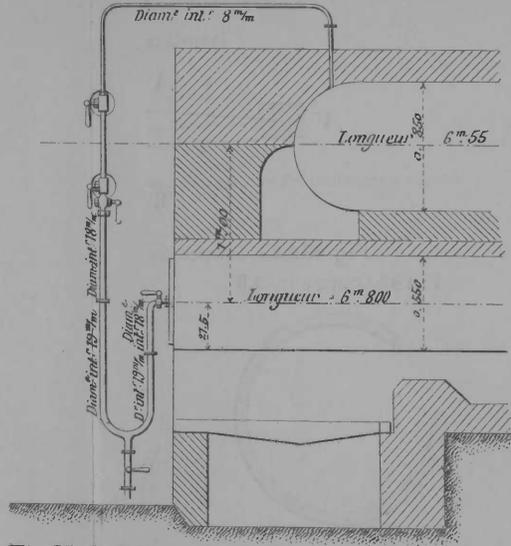
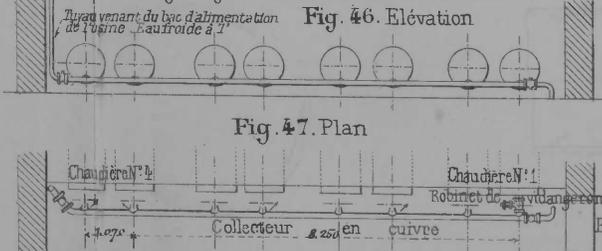


Fig. 46 et 47. Plan et élévation d'une installation de tuyau collecteur, dans laquelle aucune précaution n'avait été prise pour ménager le jeu des dilatations (13 Novembre)



Sur le plan les flèches indiquent le sens des déformations des tubulures brasées (Avant)

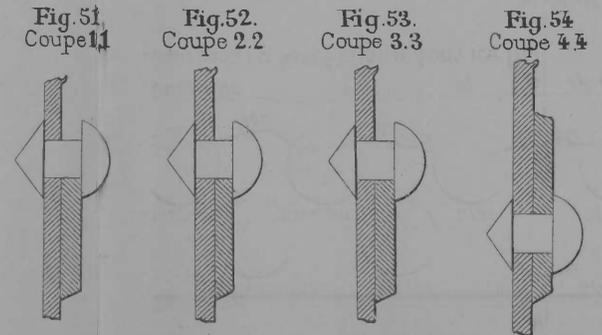


Fig. 40. Amoncellement de dépôt à l'extrémité d'un tube vaporisateur (10 Novembre)

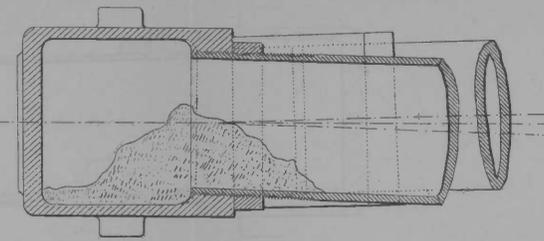


Fig. 41. Plan de l'amoncellement de dépôt Fig. 40

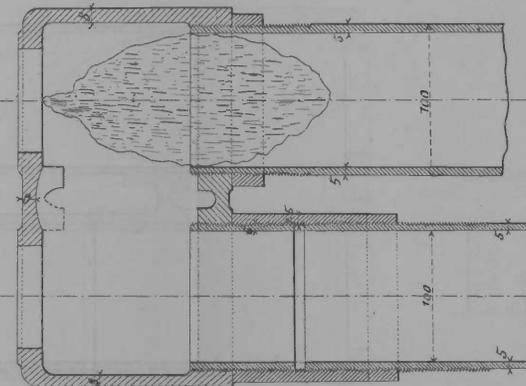


Fig. 50. Projection de la tranche de la rupture de la tôle supérieure (perpendiculairement à la Fig. 49)

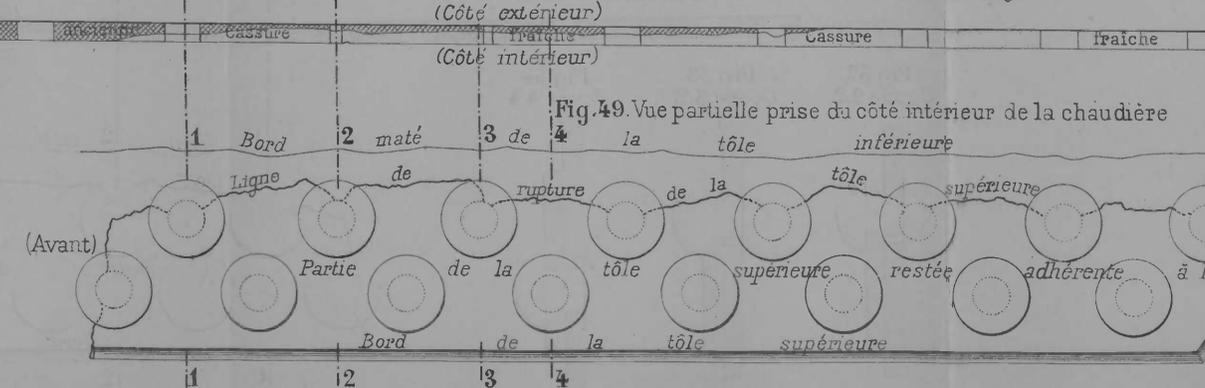


Fig. 42. Ouverture d'un tube vaporisateur dont la constitution présentait peut-être une anomalie Pour la cause de la surchauffe, voir Fig. 40 et 41 (10 Novembre)

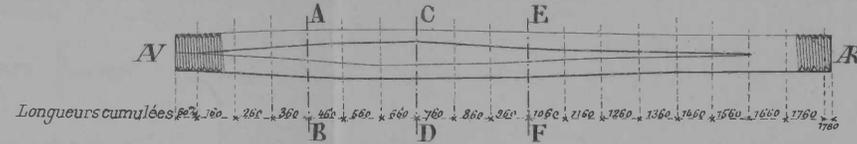


Fig. 43 à 45. Coupes du tube Fig. 42. Fig. 43. Coupe suiv. AB Fig. 44. Coupe suiv. CD Fig. 45. Coupe suiv. EF

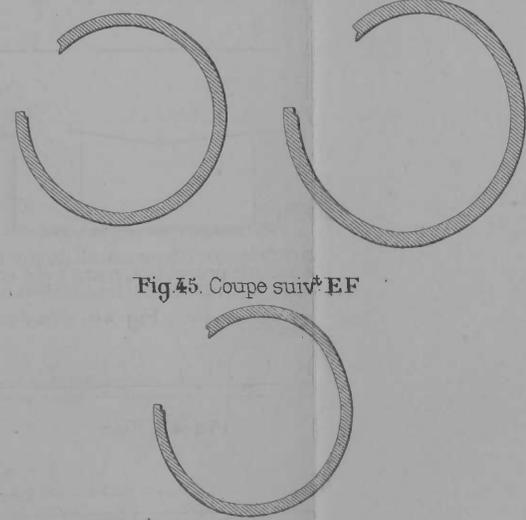


Fig. 48. Demi-coupe partielle montrant en A l'emplacement de la rivure suivant laquelle s'est faite l'avarie des Fig. 49 à 54

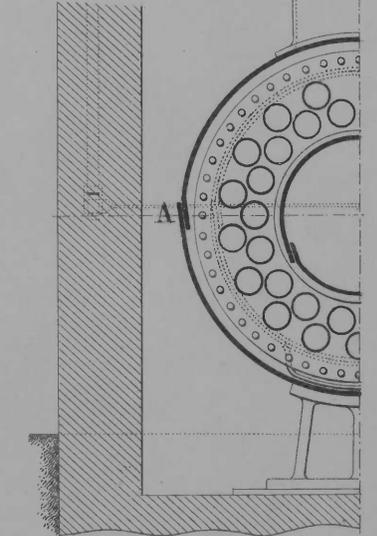


Fig. 48 à 54. Rupture le long d'une rivure-longitudinale (29 Novembre)

