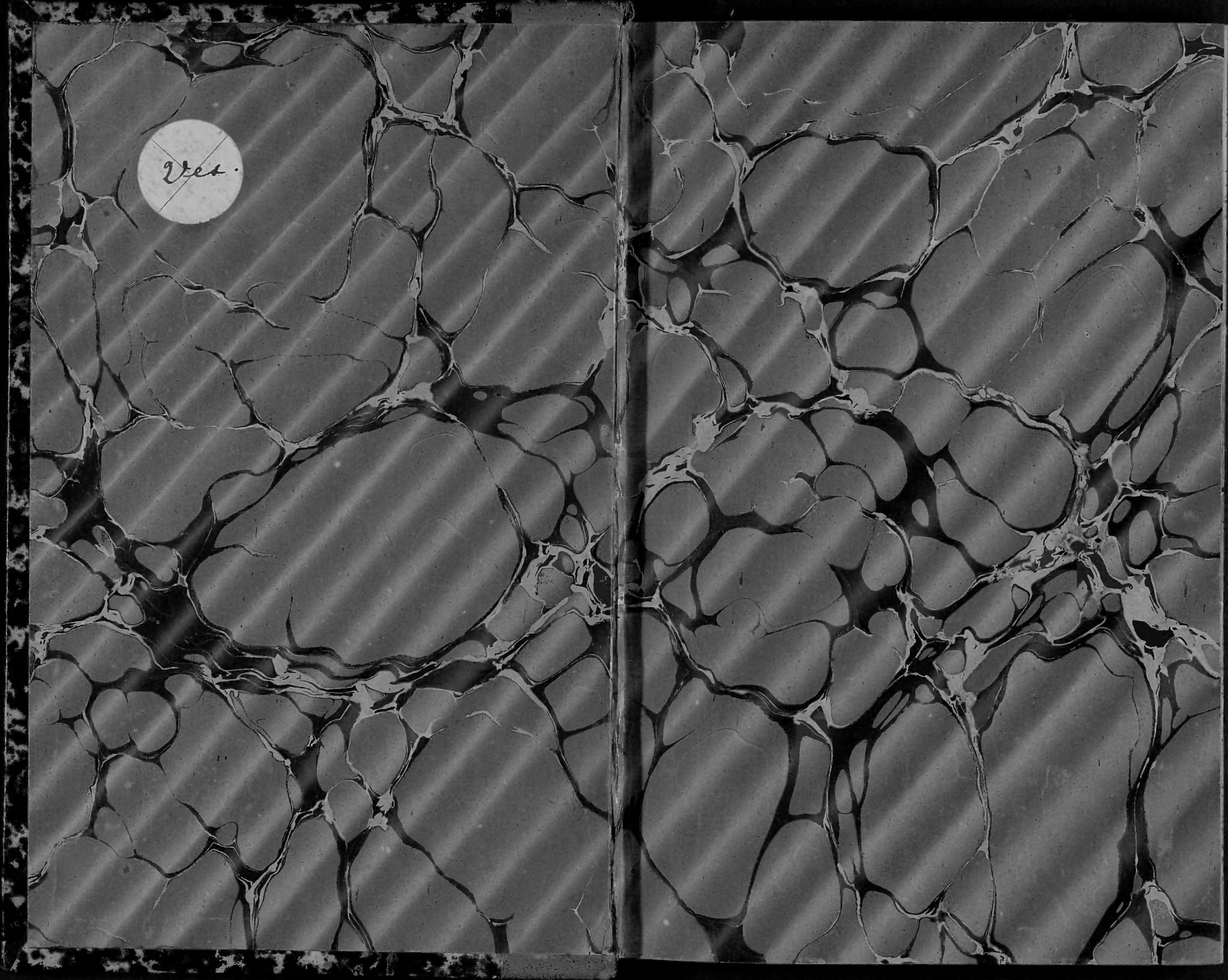


Des.

~~Ves.~~



ANNALES
DES MINES



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 général des mines, <i>président</i> .	KELLER, insp. gén., secrét. de la Commission de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur.
CASTEL, inspecteur général.	CHEYSSON, insp. gén. des ponts et chaussées, professeur à l'École supérieure des mines.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.	POTIER, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.
ORSEL, inspecteur général.	LEDOUX, d°
RÉSAL, inspecteur général, professeur à l'École supérieure des mines.	DOUVILLÉ, d°
LORIEUX, inspecteur général.	BERTRAND, d°
MASSIEU, d°	LE CHATELIER, d°
VILLOT, d°	LODIN, d°
PESLIN, d°	SAUVAGE, ingén. des mines, professeur à l'École supérieure des mines.
VICAIRE, inspect. gén., professeur à l'École supérieure des mines.	TERMIER, d°
CARNOT, inspect. gén., inspecteur de l'École supérieure des mines.	DE LAUNAY, d°
AGUILLON, insp. gén., professeur à l'École supérieure des mines.	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, 10 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 10 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 1,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0,25 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'étranger.

ANNALES DES MINES

OU

RECUEIL

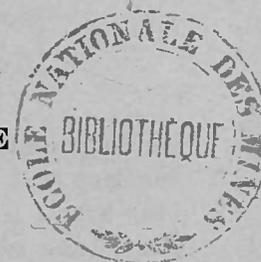
DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

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

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

NEUVIÈME SÉRIE



MÉMOIRES. — TOME VIII.

PARIS

V^{re} CH. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS
LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Grands-Augustins, 49

1895

ANNALES
DES MINES

NOTES

SUR

DES DÉGAGEMENTS DE GAZ INFLAMMABLES

SURVENUS

DANS DES CARRIÈRES SOUTERRAINES D'ARGILE PLASTIQUE

Des flambées de gaz et même de véritables explosions étant survenues dans ces derniers temps dans quelques carrières souterraines d'argile plastique, il a paru utile de signaler ces faits dans les *Annales des mines*, afin d'appeler l'attention sur ces dégagements de gaz inflammables et sur les conditions dans lesquelles ils se sont produits.

I. — NOTE SUR DES DÉGAGEMENTS DE GAZ INFLAMMABLES
SURVENUS DANS LES CARRIÈRES D'ARGILE RÉFRACTAIRE
DE BOLLÈNE.

Par M. OPPERMAN, Ingénieur en chef des mines.

On constate depuis quelques années, dans les travaux d'exploitation des carrières souterraines d'argile réfractaire de Bollène, des dégagements subits de gaz inflam-

mables qui ont paru difficiles à expliquer au début, mais sur l'origine desquels on est à peu près fixé maintenant.

Ce phénomène assez rare et irrégulier ne se produit jamais que dans les chantiers poussés à proximité d'anciens travaux incomplètement comblés par le foisonnement de la masse argileuse. Il dénote toujours l'existence prochaine de cavités dans lesquelles le gaz est accumulé sous pression : Ce sont des poches de dimensions très variables, parfois des tronçons de galeries de 15 à 20 mètres de longueur, et, suivant la situation de ces cavités par rapport à la galerie, le soufflard apparaît au front de taille, sur les parois, au sol ou au ciel de la galerie. Le gaz s'échappe violemment par des fissures brusquement ouvertes, et, dans les chantiers en activité, les ouvriers sont avertis de sa présence par le sifflement caractéristique qui accompagne son dégagement. Ils allument alors le soufflard avec leurs lampes et le laissent brûler jusqu'à extinction. La flamme bleue bordée de jaune est identique à celle que donne la combustion des gaz hydrocarbonés, son intensité peut atteindre celle d'une torchère. Ces jets de gaz peuvent brûler assez longtemps ; on cite un cas où l'un d'eux a brûlé pendant cinq jours.

On comprend facilement que si le gaz fait son apparition pendant une interruption de travail et surtout pendant un chômage de quelques jours, il peut s'accumuler dans les travaux, y former avec l'air un mélange détonant et occasionner des explosions au moment de la reprise du travail. Des accidents de cette nature devaient nécessairement se produire un jour ou l'autre et ils ont effectivement eu lieu alors qu'il eût été facile de les prévenir.

Mais les exploitants, ne soupçonnant probablement pas le danger, avaient évité ou négligé de signaler ce fait aux ingénieurs et aux contrôleurs des mines lors de leurs

visites, et c'est seulement à l'occasion d'un accident impossible à dissimuler que l'attention du service des mines a été appelée sur ce point.

Le gisement d'argile réfractaire de Bollène, situé aux quartiers de Noyères et de Jonquerolles, à 3 kilomètres au sud-ouest du village de Bollène, forme un petit bassin de 1.500 mètres environ de longueur sur 300 mètres de largeur au maximum allongé dans le sens du nord-est au sud-ouest.

La couche d'argile réfractaire repose directement sur les *sables blancs et jaunâtres de Piolenc* (c³ de la carte géologique de la France, feuille d'Orange), et cette formation remplit une dépression creusée dans les *grès d'Uchaux* (c⁶) terrain qui entoure le bassin de Noyères de tous côtés sauf vers le nord-est.

L'argile paraît contemporaine d'une couche de *sables et argiles bigarrés* (e_v) dont les affleurements contournent la colline de Saint-Restitut située au nord de Bollène près de Saint-Paul-Trois-Châteaux.

Cette couche est intercalée entre les *grès d'Uchaux* et la *Mollasse*. On y a effectué quelques travaux d'exploitation à ciel ouvert pour en extraire une argile réfractaire de qualité médiocre que l'on mélange parfois à celles de Noyères dans la fabrication de produits inférieurs.

Dans le bassin de Noyères, la couche est recouverte par des argiles maigres et des sables quartzueux passant sur certains points aux grès ferrugineux et contenant même des rognons de fer hydroxydé. Enfin, quelques îlots d'*Helvétien* (m³) se montrent au centre du bassin où ils forment de petits mamelons isolés.

La couche d'argile réfractaire est ondulée et se subdivise, suivant la largeur du bassin de Noyères, en trois cuvettes distinctes. A l'extrémité nord-est du bassin, elle est fortement redressée ainsi que les *sables blancs* sur

lesquels elle repose. Ce soulèvement est accompagné d'une faille très nette qui sépare les *sables blancs* des *grès d'Uchaux*.

Dans sa plus grande épaisseur, la couche a 20 mètres de puissance dont 12 mètres sont exploitables. Au centre du bassin, les puits d'extraction rencontrent la couche à une profondeur moyenne de 30 mètres, et leur profondeur totale peut aller jusqu'à 50 mètres.

L'argile de bonne qualité a une teinte grise. A la partie inférieure de la couche, au contact des *sables blancs*, elle devient généralement tigrée, puis rosée, mais, parfois, cette argile nuancée disparaît et est remplacée par un grès tendre.

Les *sables blancs* renferment une nappe d'eau très abondante; aussi évite-t-on avec soin de pousser l'exploitation en profondeur au delà de l'argile tigrée.

Cependant, malgré cette précaution, les travaux sont encore assez fréquemment envahis par les eaux pénétrant par les fissures qui traversent l'argile. Quand cet inconvénient se produit, on abandonne provisoirement le puits pour le reprendre quelque temps après lorsque les vides sont en partie comblés par le foisonnement de l'argile et que les fissures sont bouchées.

C'est aussi en vertu de ce remblayage naturel dû à la plasticité et à l'affaissement progressif de la masse argileuse que l'on peut exploiter la couche sur toute son épaisseur en restant au même niveau. Le puits foncé jusqu'à la partie inférieure de la couche exploitable, on perce au fond une galerie dont la longueur dépend de l'intensité de la poussée exercée contre les cadres; cette longueur est généralement de 10 à 50 mètres. On prend des chantiers à droite et à gauche de la galerie quand on peut le faire sans danger, et, dès que la poussée devient trop forte, on bat en retraite vers le puits en enlevant le plus de bois possible. On perce alors de nouvelles galeries

dans d'autres directions, et au bout d'un an environ la première galerie abandonnée est suffisamment comblée pour que l'on puisse en exploiter une nouvelle à sa place. On peut ainsi revenir plusieurs fois successivement au même point.

Mais ce n'est que dans la reprise ou à l'approche d'anciens travaux abandonnés à la suite de venues d'eau trop abondantes que l'on rencontre les dégagements de gaz inflammable dont nous avons parlé plus haut.

Et il est à remarquer que l'on trouve toujours, dans les excavations d'où provenait le gaz, de nombreux bois de soutènement, cadres, piquets, etc., qui n'ont pu être enlevés des anciens travaux à cause de l'irruption trop subite des eaux.

On a constaté pour la première fois ces dégagements de gaz en 1866, bien que le bassin de Noyères ait été mis en exploitation avant 1840. Ils ont eu lieu, depuis, à des intervalles très variables, et il s'est passé des mois, des années sans qu'ils se soient reproduits.

Parmi les accidents dont on a gardé le souvenir, nous citerons les suivants: en 1873, un ouvrier a été légèrement brûlé dans une carrière exploitée par M. Crespe et appartenant actuellement à M. Gleizal; en juillet 1886, un ouvrier a été très légèrement brûlé dans une carrière exploitée par M. Berger; en 1888, un ouvrier a été atteint de brûlures très légères dans une carrière exploitée par M. Varrenc.

Ces trois ouvriers travaillent encore actuellement dans les carrières du bassin de Noyères. Leurs brûlures aux mains, à la figure ou aux épaules avaient eu si peu de gravité que ni les exploitants ni le maire de Bollène n'avaient cru devoir informer le Service des Mines des accidents qui les avaient occasionnés, et ce n'est qu'à la suite d'une explosion survenue le 4 octobre 1890 dans la carrière de MM. Philipp, frères et sœurs, que nous

avons eu connaissance des dégagements de gaz qui se produisaient dans les carrières d'argile réfractaire de Bollène.

Ce dernier accident est survenu dans les circonstances suivantes : On avait constaté depuis un mois des venues de gaz au sol d'une galerie percée au fond d'un puits de 30 mètres de profondeur, et l'ouvrier occupé au percement de cette galerie avait déjà allumé trois soufflards. Le 3 octobre, vers 6 heures du soir, en quittant son chantier, il en avait allumé un quatrième au pied du front de taille et ce jet de gaz, plus violent que les autres, avait brûlé avec une flamme de 0^m,50 de hauteur. Le lendemain matin, on fit fonctionner le ventilateur et cet ouvrier descendit dans la carrière avec une lampe de sûreté ; mais il commit l'imprudence de ne l'allumer qu'au moment où il arrivait au fond de la galerie. Le soufflard s'était éteint et le gaz s'était accumulé au ciel de la galerie ; il était en trop grande abondance pour produire avec l'air un mélange détonant et s'enflamma sans occasionner d'explosion. L'ouvrier se coucha par terre, mais il ne put éviter des brûlures assez graves à la figure et aux mains.

A la suite de cet accident, un arrêté préfectoral du 5 juin 1891, pris sur les propositions du Service des Mines, interdit l'exécution de galeries en remonte et l'allumage des soufflards et prescrivit aux exploitants toutes les mesures de sécurité exigées par les circonstances, notamment, la visite des chantiers avant la rentrée des ouvriers par le chef carrier muni d'une lampe de sûreté, quelle qu'ait été la durée de l'interruption du travail, mais l'usage des lampes à feu nu était autorisé dans les travaux où la présence du gaz n'avait pas été constatée.

Avant l'apparition de ce règlement un nouvel accident eut lieu, mais ses conséquences furent sans aucune gravité :

Le 28 avril 1891, un ouvrier pénétrant avec une lampe à feu nu dans une galerie percée au fond d'un puits de 31 mètres de profondeur dans la carrière Crespe, exploitée par MM. Montalis et C^{ie}, détermina également l'inflammation d'une certaine quantité de gaz accumulée au ciel de la galerie. Il se coucha immédiatement par terre et n'eût que les cheveux et la barbe brûlés. La flamme occupait la moitié de la hauteur de la galerie.

Enfin, le 27 décembre 1893, un ouvrier et un chef carrier ont reçu des brûlures assez sérieuses à la suite d'une explosion survenue dans une carrière exploitée par M. Berger. Cet accident n'aurait certainement pas eu lieu si les prescriptions de l'arrêté du 5 juin 1891 avaient été strictement observées. Il s'est produit à l'extrémité d'une galerie de 50 mètres de longueur ouverte au fond d'un puits de 21 mètres de profondeur. Cette galerie était percée au mur de la couche exploitable et on lui en avait fait suivre les inflexions pour éviter toute communication avec les sables aquifères ; elle descendait avec une faible inclinaison sur tout son parcours, sauf à son extrémité où elle était en remonte sur 5 ou 6 mètres de longueur.

On y travaillait à deux postes d'une manière continue ; mais, le 27 décembre, il venait d'y avoir une interruption de travail de trois jours. Malgré cette circonstance, le chef carrier pénétra avec deux ouvriers dans la galerie sans avoir pris la précaution de la faire ventiler ; il était muni d'une lampe de sûreté dépourvue de treillis et avait d'ailleurs laissé deux lampes à feu nu allumées, l'une au fond du puits et l'autre au milieu de la galerie. Une explosion se produisit quand il arriva au pied de la remonte. Il fut renversé et assez grièvement brûlé ainsi que l'ouvrier qui l'accompagnait. Ils déclarent tous deux qu'ils ont vu une flamme bleue passer comme un éclair et entendu un sifflement strident analogue au bruit d'une

fusée. Un ouvrier placé au milieu de la galerie a été simplement entraîné par le vent violent causé par l'explosion, mais la flamme n'est pas arrivée jusqu'à lui. Enfin, un autre ouvrier penché sur l'orifice du puits a entendu une détonation et a été frappé par une des planches qui recouvraient le puits.

Dans cette circonstance, le gaz ne s'est donc pas simplement enflammé, il a occasionné une véritable explosion.

Il eût été très intéressant de connaître la composition de ce gaz inflammable, mais il est bien difficile de le recueillir à l'état de pureté et en quantité suffisante pour le soumettre à une analyse. Les dégagements sont rares, ils surviennent très irrégulièrement, sans qu'on puisse les prévoir, et les ouvriers s'empressent d'allumer le gaz dès qu'il fait son apparition. Cependant, si l'on parvient une fois à boucher un soufflard et si nous en sommes prévenu en temps utile nous réussirons peut-être à remplir quelques flacons de ce gaz.

On peut néanmoins présumer quelle peut être sa composition, car il n'y a qu'une explication plausible à donner au sujet de sa formation.

L'argile réfractaire ne renferme pas de matières organiques dont la décomposition puisse donner naissance à des gaz hydrocarbonés. Et il faut écarter toute idée d'hydrogène ou d'oxyde de carbone dont l'origine serait encore plus énigmatique et qui brûleraient avec une flamme moins colorée.

Le gaz ne vient pas non plus des profondeurs du sol. Il pourrait en être amené par la faille dont il a été question plus haut ; mais alors il se montrerait plus spécialement vers la limite nord-est du bassin, ce qui n'est pas le cas. On comprendrait d'ailleurs difficilement qu'il vienne s'accumuler dans les cavités laissées par les anciens travaux. Ces travaux sont effectués dans une

masse argileuse compacte et plastique, par conséquent fort peu perméable, et n'ont de communication possible qu'avec la nappe aquifère inférieure lorsque la couche d'argile tigrée qui les sépare des sables blancs est trop mince et fissurée.

Peut-être ces sables blancs renferment-ils, comme à Piolenc, des veines de lignite ; mais ce lignite est un charbon trop sec pour donner lieu à des dégagements de gaz hydrocarboné.

Le fait que le gaz provient toujours d'anciens travaux dans lesquels on retrouve des bois de soutènement avait été remarqué par les exploitants, et ils en avaient conclu que ce gaz est produit par la décomposition des bois. Ils ont même observé que les dégagements de gaz sont plus fréquents et plus abondants dans les travaux étayés avec des piquets de peuplier que dans ceux où l'on a mis du pin ou du chêne.

C'est évidemment dans cette voie qu'il faut diriger les recherches, car aucune autre explication ne peut être admise.

Malheureusement, nous n'avons pu trouver sur les bois extraits des anciens travaux où le gaz s'était accumulé que des indices très incertains de décomposition. La partie ligneuse est généralement bien conservée. L'écorce seule peut avoir disparu ou avoir subi quelque transformation. Nous avons recueilli un fragment d'écorce réduit à l'état de feutre comme si certaines fibres inaltérables avaient été seules conservées.

On sait depuis longtemps que la cellulose est susceptible de fermentation, et c'est à une action de cette nature qu'il faudrait attribuer la décomposition des bois ou des écorces dans les anciens travaux des carrières de Bollène.

M. Duclaux donne, sur cette question de la fermentation de la cellulose, dans son ouvrage sur la Microbio-

logie (*), des renseignements très intéressants que nous résumerons sommairement.

M. Popoff a, le premier, constaté que la fermentation des végétaux dans l'eau et à l'abri de l'air donnait lieu à des dégagements d'hydrogène, d'acide carbonique et d'hydrogène protocarboné et laissait un résidu analogue à la tourbe. C'est évidemment à un phénomène de cette nature qu'il faut attribuer la formation du gaz des marais et des gisements de tourbe. Les microbes qui interviennent dans ces fermentations n'ont pas encore été bien caractérisés, mais leur existence ne peut être mise en doute dans l'état de nos connaissances scientifiques. Le nombre des êtres, qui une fois produits et en plein fonctionnement peuvent attaquer la cellulose, paraît très considérable, mais, jusqu'ici, on n'en connaît qu'un seul qui soit capable de trouver dans cette substance un aliment de jeunesse et de développement, c'est le *Bacillus amylobacter* qui a été classé comme ferment de la cellulose, bien qu'elle ne soit pas son aliment de prédilection et qu'il s'attaque de préférence au sucre.

Le mécanisme de la dissolution de la cellulose dans les macérations végétales a été observé en premier lieu par Mitscherlich en 1850, et les vibrions auxquels il avait cru devoir attribuer ce phénomène ont été étudiés, en 1865, par M. Trécul, qui leur donna le nom d'*amylobacter*, parce qu'il avait constaté chez eux la propriété de bleuir par l'iode.

L'air nuit au développement du *Bacillus amylobacter*; ce microbe doit donc être classé parmi les anaérobies. Il ne s'attaque dans la cellule vivante qu'à son enveloppe extérieure, il en respecte la matière azotée ou amylacée et l'abandonne à d'autres êtres anaérobies qui sont les ferments de ces substances.

(*) *Encyclopédie chimique de Fremy*, t. IX (1883), chap. LII.

L'oxygène contenu dans le végétal disparaît à l'état d'acide carbonique et l'hydrogène à l'état d'hydrogène protocarboné, et il ne reste bientôt comme résidu qu'une masse où le carbone est devenu prédominant.

On savait déjà que, lorsque du bois ou des organes végétaux sont abandonnés sous l'eau et, de préférence, dans les marais ou marécages contenant de la matière organique, ils éprouvent une série de transformations qui aboutissent toutes en dernière analyse à rendre le carbone prédominant dans les tissus et surtout à en éliminer presque complètement l'oxygène.

Nous pouvons rapprocher de ces observations les résultats très intéressants d'expériences faites sur la fermentation des fumiers.

M. Reiset avait le premier remarqué, en 1856, que cette fermentation donnait lieu à un dégagement de formène. Les conditions dans lesquelles s'effectue cette production de gaz protocarboné ont été étudiées par MM. Gayon, Dehérain et Schloësing qui sont arrivés aux conclusions suivantes :

Le fumier frais donne lieu à deux fermentations différentes, selon qu'il est exposé à l'air libre ou dans un vase clos. M. Gayon a pu isoler le microbe qui, sans aucun doute, provoque dans la fermentation en vase clos le dégagement d'acide carbonique et de protocarbure d'hydrogène et donne lieu aux mêmes réactions chimiques en attaquant la cellulose (*). Dans une expérience faite, en 1883, à la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux, il a même utilisé dans divers essais d'éclairage et de chauffage le gaz provenant d'une bonbonne de 100 litres pleine de fumier et d'eau. Il a évalué à 100 litres le volume de formène produit par un

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1884, 1^{er} semestre.

mètre cube de fumier en 24 heures à la température de 35°. Le microbe extrêmement petit qui détermine le phénomène dont il s'agit est anaérobie et cultivable dans des liquides nutritifs contenant soit de la paille, soit du papier; il attaque donc la cellulose.

M. Dehérain avait aussi remarqué qu'à la partie inférieure d'un tas de fumier, la fermentation différait entièrement de celle qui se produit à la surface, et donnait lieu à un dégagement d'acide carbonique et de formène (*). La fermentation aérobie développait une température élevée pouvant atteindre 65 à 70°; la fermentation anaérobie portait simplement la température du fumier à 30 ou 35°. M. Dehérain a fait agir des bactéries forméniques vers 40° sur la cellulose du papier, du coton ou de la filasse en présence de carbonates d'ammoniaque et de potasse additionnés de phosphate d'ammoniaque, et a constaté qu'elles la décomposaient en dégageant des volumes égaux d'acide carbonique et de formène. Quand le fumier ou le liquide de culture ont été stérilisés, le dégagement cesse absolument. M. Dehérain affirme qu'on ne recueille du formène pur qu'à la condition d'opérer dans un liquide très alcalin et que si l'on n'introduit au début que de faibles quantités de carbonates de potasse et d'ammoniaque, on recueille de l'hydrogène et le liquide renferme de l'acide butyrique. Le ferment forménique n'est pas habituellement très actif; les liquides d'où s'échappe le gaz des marais sont peuplés de bactéries assez dodues qui facilement donnent des spores et cessent leur travail.

M. Schlœsing a constaté que la fermentation forménique se produisait encore à une température très élevée, ne dépassant pas toutefois 66°, tandis qu'au delà de cette

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1884; *Annales agronomiques*, 1888.

température, et jusqu'à 72°, la quantité d'acide carbonique due à l'action des microbes est encore considérable (*).

Il a obtenu, dans deux expériences intéressantes, les quantités de gaz suivantes :

1° 100 grammes de fumier soumis à la fermentation en vase clos, à la température de 42°, ont donné, en deux mois :

	cent. cub.
Acide carbonique	713,6
Formène	97,6
Hydrogène	38,0

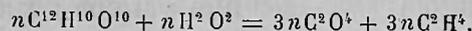
2° 124 grammes de fumier, à 76,5 p. 100 d'humidité, soumis à la fermentation forménique, à la température de 52°, ont donné, au bout de deux mois :

	cent. cub.	gr.
Acide carbonique	4.217,5,	soit 8,296
Formène	4.577,4,	3,276
Total	8.795,0	11,572

M. Schlœsing a constaté que l'acide carbonique formé avait emprunté 2^{gr},333 d'oxygène à l'eau et le formène 0^{gr},305 d'hydrogène.

Il y a donc eu fixation de 2^{gr},638 d'eau.

M. Berthelot, à la suite de la communication faite par M. Schlœsing à l'Académie des sciences, a proposé la formule suivante pour rendre compte des phénomènes chimiques qui accompagnent la fermentation de la cellulose :



Cette fermentation étant accompagnée d'un phéno-

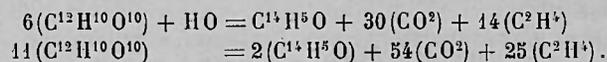
(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1889, 4^{er} et 2^e semestres; *Annales agronomiques*, 1892.

mène endothermique, la décomposition de l'eau, il n'est pas surprenant que sa température soit moins élevée que celle de la fermentation aérobie.

Les résultats de ces expériences si intéressantes sont de nature à confirmer l'hypothèse de M. Renault attribuant à l'action de la macération et des organismes inférieurs la transformation des plantes et de leurs produits, d'où paraît provenir la formation des différentes variétés de houille qui renferment toujours un nombre considérable de débris végétaux (*). Cette transformation, probablement très rapide à l'époque carbonifère, a pu aboutir à la production des couches les plus puissantes de combustibles minéraux.

D'après l'étude anatomique d'un très grand nombre de plantes houillères, ce seraient les feuilles, les bois, mais principalement les assises subéreuses et prosenchymateuses des écorces plus ou moins chargées de réservoirs ou d'appareils de sécrétion qui auraient contribué à la formation de la houille.

On peut passer par diverses combinaisons de la formule de la cellulose ou de ses isomères à celle d'une houille faite et définie (C¹⁴H⁵O, par exemple, formule déduite de la composition en centièmes d'une houille de Commentry provenant d'un bois parfaitement homogène et sans mélange comme celui des cordaïtes) par simple élimination d'acide carbonique et d'hydrogène protocarboné, avec ou sans fixation d'eau, soit, notamment, par les formules suivantes :



La formule proposée par M. Berthelot correspondrait

(*) *Études sur le terrain houiller de Commentry*, par MM. B. Renault et R. Zeiller. — *Bulletin de la Société de l'industrie minière*, 3^e série, t. IV, 2^e livraison, 1890.

au cas, probablement exceptionnel, où la transformation de la cellulose serait complète et ne laisserait aucun résidu.

Il serait du plus grand intérêt de vérifier si, comme cela est infiniment probable, le gaz inflammable qui se dégage dans les travaux d'exploitation des carrières de Bollène est bien un mélange de formène et d'acide carbonique. Dès que les circonstances nous le permettront, nous ferons cette vérification.

Peut-être aussi pourrait-on, dans des expériences semblables à celles de MM. Gayon, Dehérain et Schloësing, provoquer la fermentation de fragments de bois ou d'écorces provenant des diverses essences qui fournissent les cadres ou piquets employés dans ces carrières. La comparaison entre la composition des gaz obtenus par cette fermentation et celle du gaz produit naturellement confirmerait une hypothèse qui, dès maintenant, peut, croyons-nous, être admise sans aucune hésitation.

II. — NOTE SUR DES DÉGAGEMENTS DE GAZ INFLAMMABLES SURVENUS DANS LES GLAISIERES DE VANVES ET DE MALAKOFF (SEINE).

Par M. HUBERT, Ingénieur des mines.

Un accident, aussi grave qu'insolite, s'est produit le 10 septembre 1894, dans une carrière souterraine de glaise, à Malakoff, aux portes de Paris : comparable à un véritable coup de grisou, il a été provoqué par l'inflammation de gaz accumulés dans les galeries. Avant d'en exposer les circonstances et la cause probable, il est nécessaire d'indiquer la nature du terrain et le système d'exploitation.

Conditions générales de l'exploitation. — La couche d'argile exploitée aux environs de Paris est surmontée par l'étage du calcaire grossier; elle est divisée en deux parties par un banc intermédiaire, formé de sable noirâtre assez compact, connu sous le nom de *ceudrier*.

Entre les bancs inférieurs du calcaire et l'argile existe un premier niveau d'eau; un second niveau se rencontre à la base du *ceudrier*, sur la seconde couche de glaise. Dans le *ceudrier*, on trouve, en assez grande abondance, de la pyrite de fer en rognons ou en paillettes; l'argile elle-même est ferrugineuse. La couche supérieure est la plus impure; elle renferme, en particulier, des lentilles de lignite, intercalées sans ordre apparent, et souvent accompagnées de pyrites.

Pour exploiter l'argile, on procède généralement par puits et galeries: de la base du puits, au sein de la masse glaiseuse, part un rameau principal auquel se rattache un réseau de vides à angles droits; c'est là toute la méthode d'exploitation.

Pour empêcher la coulée, dans les galeries, des argiles supérieures, un boisage soigné est indispensable; malgré ce boisage il n'est pas possible de pousser les travaux trop loin du puits sans compromettre la carrière, les vides créés tendant sans cesse à se combler en raison de la plasticité de la glaise.

L'aérage des chantiers, dans lesquels nul appel d'air ne peut se faire naturellement, est plus ou moins bien assuré par un poêle, installé au bas du puits avec un tuyau montant jusqu'au jour, et qui reste allumé tout le temps du travail; quelquefois, un ventilateur, établi à la surface, complète l'aération dans les cas exceptionnels.

Quand les galeries ont été menées assez loin du puits et ne peuvent être poursuivies sans inconvénients, on les abandonne purement et simplement, sans prendre

aucune mesure pour les combler; le comblement s'opère de lui-même, sous la poussée des argiles qui forment les parois et on se borne, en se retirant, à enlever le plus possible des bois de protection. Après quelques années, on peut revenir dans la même région et exploiter de nouveau la glaise; on ne rencontre plus de trace des anciens vides.

Dégagements gazeux. — Des dégagements gazeux, analogues à celui qui a causé l'accident du 10 septembre dernier, s'étaient déjà produits dans des glaisières, mais exclusivement dans les carrières anciennes; on les a surtout signalés dans les terrains voisins des fortifications de Paris, où les règlements militaires interdisent de bâtir et qui se trouvent ainsi désignés à des exploitations successives.

Dans ces vieilles carrières, il n'est pas rare de voir du gaz s'échapper en sifflant de la masse même d'argile: généralement le gaz se dégage par les trous de sonde que forent les ouvriers dans la glaise, au fur et à mesure de l'avancement des chantiers, pour rechercher les poches d'eau disséminées dans les anciens travaux; d'autres fois, il sort de fissures naturelles. L'ouvrier en reconnaît la présence au bruit du sifflement; dans la plupart des cas il y met alors le feu en se tenant couché au sol de la galerie et une flamme plus ou moins longue se maintient pendant quelques minutes à l'orifice de dégagement. Le gaz n'est d'ailleurs pas toujours inflammable. Quand on n'essaie pas de l'allumer de suite, il peut se répandre dans les chantiers et y prendre feu au contact des chandelles; une explosion se produit alors, d'autant plus forte que le gaz a eu plus de temps pour s'accumuler, et c'est ainsi que la plupart des accidents ou incidents survenus ont eu lieu le matin, à l'heure de la reprise du travail, après un repos de quelque durée.

Les accidents sérieux ont été jusqu'ici au nombre de trois.

Le 9 avril 1890, dans une glaisière de Vanves, un ouvrier pénétrait en carrière, vers sept heures du matin, pour reprendre le travail interrompu depuis le 6 avril (jour de Pâques), quand une explosion de gaz allumés par sa chandelle le lança rudement contre les boisages. Il se jeta à plat ventre pour laisser passer les flammes et revint ensuite au puits, dont il vit la colonne encore tout en feu : brûlé à la figure, aux mains et aux jambes, il subit une incapacité de travail de près de trois semaines. Depuis quelques temps des dégagements se manifestaient dans cette glaisière, poussée dans la couche inférieure d'argile.

Le 23 juillet 1894, dans une glaisière de Malakoff, située comme la précédente dans la zone militaire de Paris, un coup de sonde foré au bas du puits, à travers le cendrier, laissa échapper un violent jet de gaz qui s'enflamma à une chandelle ou au poêle et brûla assez sérieusement un ouvrier; c'est dans la même carrière que s'est produit, le 10 septembre suivant, l'accident bien autrement grave dont il a été parlé au commencement de cette note.

Ce nouvel accident fut précédé par des dégagements gazeux assez importants. La glaisière occupait la couche supérieure de l'argile, le cendrier formant le sol des chantiers. Le 6 septembre deux petites fissures successives, au sol d'une galerie, laissèrent échapper un peu d'eau et de gaz que l'on enflamma; le 8, dans l'après-midi et du même côté, une troisième fissure plus sérieuse se produisit, donnant également de l'eau et du gaz qui sortait de l'eau en pétillant. Les trois fissures furent tamponnées.

Le dimanche 9, au matin, un ouvrier allant chercher un outil dans le chantier suspect, abandonné depuis la veille, leva sa chandelle vers le toit et alluma ainsi du

gaz qui fit explosion en développant une flamme de dix mètres environ de long, au ciel de la galerie. Aucun des glaisiers ne fut brûlé. Plusieurs fois encore, dans la matinée, les ouvriers mirent le feu au gaz, au fond du même rameau; ils remontèrent vers 11 heures, comme d'habitude, en se plaignant de maux de tête et ne redescendirent plus de la journée.

Le travail devait être suspendu le lendemain, lundi, jour de repos pour les glaisiers; on comptait seulement, selon l'usage, visiter les chantiers dès le matin; à 7 heures, l'ouvrier chargé de ce soin descendit une lumière au fond du puits, par le câble du treuil, pour constater si l'air y était respirable: souvent en effet la chandelle s'éteint; en ce cas on met en marche le ventilateur et on allume, d'en haut, le poêle placé au bas du puits. La chandelle brûla cette fois parfaitement, durant une demi-heure au moins. Vers sept heures et demie arrivèrent les autres ouvriers et le contremaître, qui, un peu inquiet des dégagements de la veille, déclara qu'il opèrerait lui-même la visite des chantiers: il se fit descendre au treuil sans prendre la précaution de mettre d'abord en marche le ventilateur. Arrivé au fond, sans quitter le bas du puits, il introduisit dans la galerie, au bout d'une perche, une chandelle allumée, et cria « J'ai mis le feu au gaz, remonte-moi vite ». L'ascension était à peine commencée qu'une explosion formidable se produisit; le malheureux contremaître fut projeté hors du puits, profond de 25 mètres, et retomba sans vie à la surface, nu, carbonisé, avec des plaies affreuses. Les deux ouvriers qui tournaient le treuil et deux autres qui étaient penchés sur l'orifice furent également lancés à plusieurs mètres; on retrouva même l'un d'eux en dehors de la baraque qui couvrait le puits et dont la toiture était complètement arrachée. Trois de ces hommes reçurent d'assez graves blessures.

Cause probable des dégagements gazeux. — Quelles sont l'origine et la nature de ces gaz inflammables, si dangereux et si imprévus dans des exploitations d'argile? Il semble possible de répondre à la question avec quelque certitude.

Tout d'abord, il s'agit de gaz comprimés, puisqu'ils s'échappent sous pression et avec un sifflement léger; le dégagement paraît ensuite limité en durée, car les flammes allumées à l'orifice des trous de sonde s'éteignant au bout de peu d'instant. On est donc, semble-t-il, en présence de gaz enfermés sous pression, dans des espaces clos ou poches, et ces poches, dans une couche aussi plastique que celle d'argile, ne peuvent provenir que des anciens vides de l'exploitation. Le fait que les dégagements se produisent uniquement dans les vieilles glaisières confirme cette manière de voir.

Il est d'ailleurs naturel qu'une certaine quantité d'air se trouve emprisonnée au sein des argiles, après l'abandon des chantiers : si la coulée des glaises obstrue d'abord l'origine d'un rameau, la partie postérieure de ce rameau forme par là-même une poche remplie d'air, que comprime peu à peu la pression des argiles supérieures et latérales. Le même fait rend compte de l'existence des poches d'eau, car la nappe qui surmonte les deux couches exploitées peut envahir les vides abandonnés, à la faveur des mouvements de terrain, très importants et très sensibles, que provoque le déplacement de l'argile. Il arrive même que la poche reste en communication avec le niveau d'eau supérieur : si les travaux viennent alors à la rencontrer, la carrière est noyée rapidement, fait qu'on a plusieurs fois constaté.

Ces considérations expliquent l'utilité et les résultats des sondages pratiqués à l'avancement des galeries, sondages qui donnent des écoulements d'eau ou d'air; quant aux gaz inflammables, qui sont évidemment mêlés à l'air

dans les poches de l'argile, on doit sans doute les attribuer à la décomposition des vieux bois abandonnés, car ils ont, d'après les glaisiers, une odeur spéciale, analogue à celle des bois pourris qu'on retrouve dans les anciennes exploitations.

On pourrait encore songer à un gaz provenant des lignites intercalés dans l'argile : sans repousser cette hypothèse d'une manière absolue, nous ferons remarquer que les lignites sont en trop faible quantité pour donner lieu à des dégagements sérieux; d'ailleurs on n'expliquerait ainsi ni l'odeur si caractéristique des gaz, ni leur absence constante dans les glaisières exploitées depuis peu.

Il semble donc que les bois abandonnés se décomposent, dans les poches de l'argile, en présence de l'eau et de l'air comprimé, produisant ainsi un gaz inflammable dont une faible partie, tout au plus, pourrait provenir des lignites; la décomposition est sans doute fort lente, mais il ne faut pas oublier que les glaisières voisines des fortifications de Paris sont exploitées depuis de longues années.

Quelques glaisiers prétendent que le gaz inflammable ne sort pas de l'argile, mais du cendrier, et qu'il a parfois une odeur semblable à celle du soufre qui brûle : il n'est pas impossible en effet, dans notre hypothèse, que des gaz s'échappent par les fissures du cendrier pour se répandre dans les chantiers situés au-dessus de ce banc, mais ils proviennent alors des poches de la couche d'argile inférieure; ils peuvent même sortir de la couche la plus haute si les fissures du cendrier, disloqué par les exploitations sous-jacentes, sont assez grandes pour mettre en communication par le bas une poche de l'étage supérieur et une galerie du même étage. La présence d'un niveau d'eau à la base du cendrier explique aussi comment les fissures de ce banc

peuvent donner à la fois de l'eau et du gaz, circonstance qui s'est produite à Malakoff. Quant à l'odeur de soufre, elle aurait son origine dans des traces d'acide sulfureux dû à une décomposition de pyrites; mais ce cas semble très rare.

Mesures préventives. — Pour prévenir de nouvelles explosions, le Service des Mines a soumis à M. le préfet de la Seine un projet d'arrêté imposant certaines mesures de sécurité dans les glaisières de la zone dangereuse, projet qui a reçu l'approbation du Conseil général des Mines. Un arrêté conforme, pris le 11 janvier 1895, prescrit, pour ces glaisières, l'usage de lampes de sûreté à treillis métallique, et interdit tout système d'aérage reposant sur l'emploi d'un foyer allumé; les chantiers ne peuvent être désormais aérés qu'au moyen d'un ventilateur amenant l'air par des tuyaux à 5 mètres au plus du fond de chaque galerie et qui doit être mis en marche, durant une demi-heure au moins, avant toute reprise du travail. Ces mesures, bien entendu, ne sont pas applicables à toutes les glaisières du département de la Seine; elles concernent seulement les exploitations situées à moins de 500 mètres du mur d'enceinte de Paris, sur les territoires de Vanves et de Malakoff, la région dangereuse ne paraissant pas s'étendre au delà.

III. — NOTE SUR DES DÉGAGEMENTS DE GAZ INFLAMMABLES SURVENUS DANS DES CARRIÈRES SOUTERRAINES D'ARGILE PLASTIQUE EN BELGIQUE.

A la suite de l'étude, qu'il vient de publier, dans les *Annales des travaux publics* (tome LI), sur les accidents de grisou constatés en Belgique de 1880 à 1890, M. l'in-

génieur en chef Frédéric Roberti-Lintermans a signalé des inflammations de gaz des marais dans des exploitations d'argile, qu'il est intéressant de rapprocher de celles mentionnées en France (*).

Le 7 février 1889, trois ouvriers furent brûlés dans une carrière souterraine de terre plastique de la Société de Seilles et Bouffioulx, à Coutisse (arrondissement minéralogique de Namur).

Le puits d'extraction venait d'être arrêté à la profondeur de 31 mètres et l'on avait commencé le creusement d'une galerie qui n'avait que 3 mètres et était aérée par diffusion. Le gisement étant exploité depuis cinquante ans, pour éviter de percer inopinément aux eaux remplissant les vides des anciennes exploitations, on forait des trous de sonde dans toutes les directions. Deux de ces trous, distants de 0^m,50 et longs de 2 mètres, avaient rencontré, dans la paroi de gauche de la galerie, les boisages d'une voie abandonnée depuis huit mois. On perça un troisième trou entre les deux précédents. Il venait d'atteindre une longueur d'un peu plus de 2 mètres lorsque l'ouvrier sondeur sentit la sonde fortement repoussée. Un dégagement de gaz se produisit aussitôt. Le gaz s'enflamma à la lampe à feu nu suspendue au toit de la galerie et provoqua une violente explosion. Les trois ouvriers occupés au fond furent atteints par les flammes.

Les ouvriers ont reconnu que des dégagements de gaz suivis d'inflammation s'étaient déjà produits dans les exploitations où ils travaillaient. Ce fait n'avait pas été porté à la connaissance de la direction des travaux.

(*) M. Roberti-Lintermans a bien voulu autoriser la reproduction, dans les *Annales des mines*, des renseignements qu'il a donnés sur ces accidents; la Commission des *Annales* est heureuse de pouvoir l'en remercier.

Depuis l'accident, celle-ci a obligé les ouvriers à se servir des lampes de sûreté qu'elle leur a procurées.

Le Comité d'arrondissement (*) a été d'avis que la formation de gaz inflammable dans d'anciens travaux peut s'expliquer par la décomposition des bois abandonnés dans un milieu humide où de l'air emprisonné, à la suite de l'obturation du puits, se trouve de plus en plus comprimé par le tassement des terres plastiques et prend conséquemment une température croissante. Ces conditions, favorisant la fermentation du bois, expliqueraient la formation du gaz des marais.

Le 27 mars 1891 une exploitation de terre plastique située à Wierde a été également le théâtre d'une inflammation de gaz. Un ouvrier, qui pénétrait avec une lampe à feu nu dans une galerie renfermant un mélange détonant, a été grièvement brûlé; cette voie avait été abandonnée au voisinage d'anciens travaux.

(*) Le Comité d'arrondissement se compose de tous les ingénieurs de l'arrondissement appelés à délibérer, sous la présidence de l'ingénieur en chef, sur tous les accidents survenus dans l'arrondissement.

NOTES SUR DES FLAMBÉES DE GAZ

SURVENUES

DANS DES QUARTIERS DE MINES NON GRISOUTEUX

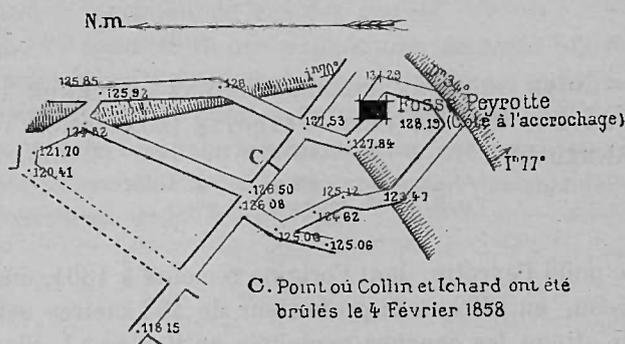
I. — NOTE SUR UNE FLAMBÉE DE GAZ SURVENUE LE 4 FÉVIER 1858 AU PUIITS PEYROTTE (CONCESSION DE CARMAUX).

Par M. LÉON, Ingénieur des mines.

Le puits Peyrotte, dont l'origine remonte à 1804, était parvenu, en 1809, à la profondeur de 133 mètres sans avoir atteint les couches exploitées au Ravin n° 1. Placé en effet à 250 mètres environ au sud-sud-est de ce dernier puits, il en est séparé par une faille qui a abaissé au sud tout le faisceau houiller de près de 120 mètres. Le puits avait néanmoins recoupé deux veines de charbon supérieures aux veines habituellement exploitées à Carmaux et notamment à 102 mètres de profondeur une veine double, à l'amont-pendage de laquelle on avait fait quelques travaux de reconnaissance. On abandonna le tout en 1809 et le puits ne tarda pas à se noyer jusqu'au niveau de la rivière voisine du Cérou, c'est-à-dire jusqu'à 16 mètres environ de son orifice.

Vers la fin de 1857 la Direction se décida à reprendre les travaux du puits Peyrotte. Le dénoyage effectué jusqu'à la cote 128 (voir le plan ci-contre), le maître mineur Collin

et le porion Ichard reçurent l'ordre de visiter les anciens travaux au charbon et de vérifier dans quel état ils se trouvaient. Le 4 février 1858, ces deux surveillants venaient de pénétrer dans les galeries de 1809 avec des lampes à feu nu et ils étaient arrivés au point C, lorsqu'il se produisit une explosion accompagnée d'une flamme bleuâtre. Collin et Ichard eurent la figure, les mains, les oreilles, toutes les parties découvertes de leur corps brûlées; ils se rétablirent néanmoins assez vite, Collin en un mois, Ichard en un mois et demi.



Le coup de feu du 4 février 1858 fut, dès l'époque, attribué au grisou, mais non pas au véritable grisou suintant tout formé des pores de la houille. On fit remarquer en effet que, lors du noyage du puits, en 1809, l'air confiné dans les travaux de la couche de charbon (cote 128) n'avait pu s'échapper, faute d'issue; que les eaux avaient dû monter dans la cloche, formée par la remontée 127-118, jusqu'aux 7/8 environ de sa hauteur jusqu'à ce que l'équilibre se fût établi entre la pression de l'air dans cette cloche et la charge de l'eau dans le puits; que, pendant les quarante-neuf ans d'abandon, les bois de mine, partie dans l'air humide de la cloche, partie sous l'eau, s'étaient pourris, dans des conditions tout à fait analogue à celles des plantes pourrissant dans les marais; tous les gaz

provenant de la décomposition de ces bois, et notamment le protocarbure d'hydrogène, s'étaient réunis au sommet de la remontée 127-118; puis, décomprimés lors du dénoyage, ils avaient formé l'atmosphère explosive dans laquelle Collin et Ichard avaient pénétré avec des lampes à feu nu. Il faut ajouter que, postérieurement au 4 février 1858, on a pénétré de nouveau dans les travaux de 1809 avec des lampes de sûreté; on a repris ces travaux, on les a poussés vers la faille qui sépare Peyrotte du Ravin sans jamais trouver trace de grisou.

II. — NOTE SUR UNE FLAMBÉE DE GAZ SURVENUE AU PUITTS MARSEILLE.

(Concession des mines de houille de Montrambert, Loire.)

Par M. LEPROUX, Ingénieur des mines.

Le 21 juillet 1894, une légère flambée de gaz s'est produite dans un travers-bancs de l'étage 456 du puits Marseille de la concession des mines de houille de Montrambert (Loire), occasionnant de légères brûlures à un ouvrier occupé aux travaux de percement de ce travers-bancs avec le puisard du puits Marseille. La présente note a pour objet de relater les circonstances de cet accident et ses causes présumées.

Description des travaux. — Nous rappellerons tout d'abord la disposition générale des travaux de la concession de Montrambert. Par les deux centres d'extraction (puits Devillaine et puits Marseille), on exploite, sur une longueur de 1.000 mètres environ, les sept princi-

pales couches du faisceau de Montrambert, savoir, en allant du toit au mur :

- La couche des Littes ;
- La planche au toit de la Grande-Couche ;
- La Grande-Couche ;
- La 1^{re} Brûlante ;
- La 2^e Brûlante ;
- La planche au toit de la 3^e Brûlante ;
- La 3^e Brûlante.

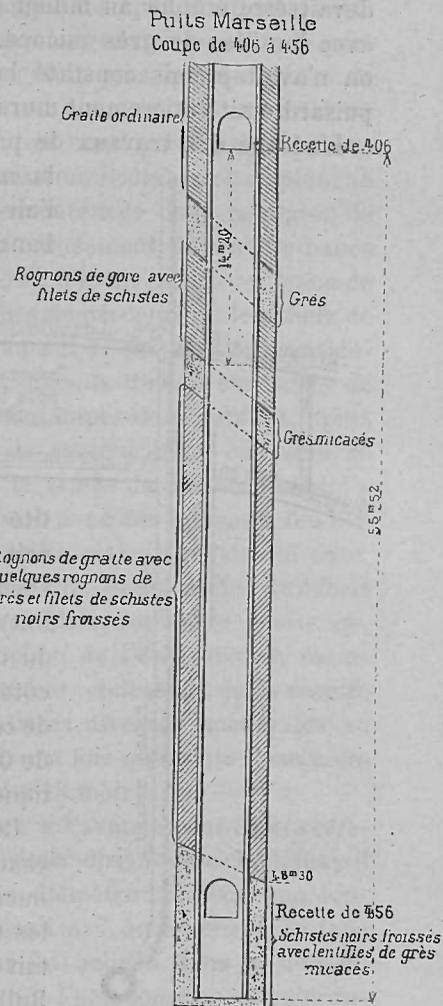
L'exploitation se fait par étages de 50 mètres de hauteur verticale, pris en descendant. On exploite le même étage simultanément par les deux puits : la cote des travers-bancs (cote prise à partir de l'orifice des puits Devillaine) reliant les puits au faisceau des couches, sert à définir les étages ; ainsi, par les travers-bancs de 406 des puits Devillaine et Marseille, on exploite actuellement l'étage 406, compris entre deux plans horizontaux pris à 356 mètres et à 406 mètres au-dessous de la recette du jour des puits Devillaine.

On procédait depuis 1891 à l'exploitation de l'étage 406, et on avait commencé presque aussitôt la préparation de l'étage 456. Dans ce but on avait tracé en descente, à partir du niveau 406 de la planche au toit de la 3^e Brûlante, un niveau dans la même couche, à la cote de 456 entre la position que devaient occuper plus tard le travers-banc du puits Marseille et celui du puits Devillaine ; à partir de ce niveau on avait attaqué le travers-banc des puits Devillaine et Marseille en marchant au mur pour recouper les puits, et au toit pour recouper le faisceau des couches à exploiter. Ces travaux avaient été poussés assez lentement et seulement en général pendant l'été. En juillet 1894, le travers-banc des puits Devillaine était achevé du côté des puits, et se poursuivait de l'autre côté pour rechercher la couche des Littes.

Le travers-banc du puits Marseille était, le 21 juillet, à 4^m,50 de ce puits, et on avait percé au puisard depuis quelques jours par un trou de sonde. En sens inverse, on prolongeait ce travers-banc pour rechercher la Grande-Couche.

Les terrains que l'on avait rencontrés dans le travers-banc Marseille au mur de la planche du toit de 3^e Brûlante, étaient les suivants :

	mètres
Troisième Brûlante.	
Planche du toit	
Gore	5,40
Planche de charbon	1,50
Gore avec filets charbonneux	8,75
Couche de charbon	2,00
Grès grossier	34,95
Grès avec veines de charbon	9,50
Gore froissé	2,05
Grès	13,00
Gore	15,00
Charbon médiocre	0,30
Gore	5,00
Charbon	0,40
Gore et galets de gratte	15,00
Galets de gratte avec gore	10,00
Gore et galets de gratte	12,00
Schistes avec lentilles de grès micacé	11,00



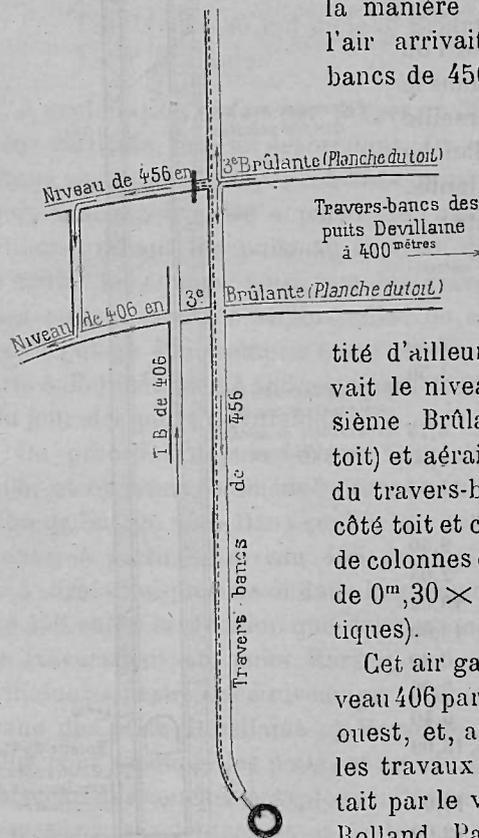
Echelle 1/500

Fig. 1.

Le croquis (fig. 1) donne la coupe des terrains recoupés

par le puisard du puits Marseille en 1889. Cette coupe montre que la recette future du travers-banc de 456 devait être établie au milieu de schistes noirs froissés avec lentilles de grès micacé. Au cours de ce fonçage, on n'avait jamais constaté la présence du grisou. Le puisard était entièrement muraillé.

L'aéragé des travaux de préparation était assuré de la manière suivante (fig. 2) : l'air arrivait par le travers-bancs de 456 des puits Devillaine ; une partie



Puits Marseille
Fig. 2.

le reste, en quantité d'ailleurs très faible, suivait le niveau de 456 de troisième Brûlante (planche au toit) et aéraient les avancements du travers-bancs de Marseille, côté toit et côté mur, au moyen de colonnes de tuyaux aspirants de $0^m,30 \times 0^m,50$ (tuyaux elliptiques).

Cet air gagnait ensuite le niveau 406 par le remonte 406-456 ouest, et, après avoir traversé les travaux de Marseille, sortait par le ventilateur du puits Rolland. Par suite, des résistances que créaient ces colon-

dominance momentanée du ventilateur du puits St-Pierre sur celui du puits Rolland ; mais on n'avait jamais été gêné au chantier par le manque d'air, et, d'ailleurs, cette situation ne devait pas durer longtemps, puisque le percement à grande section n'était plus qu'une affaire de quelques jours.

Dans tous ces travaux, on employait exclusivement des lampes à feu nu. La troisième Brûlante et sa planche du toit n'ont jamais été grisouteuses dans la région de Marseille, et, au cours du creusement du travers-bancs de 456 du puits Marseille, on n'avait jamais vu trace de grisou. Pourtant, par mesure de précaution, les chefs de poste de chaque chantier en cul-de-sac (et l'on considérait comme tels les avancements du travers-bancs de Marseille) étaient pourvus de lampes de sûreté, et, après chaque arrêt du travail, ils avaient pour consigne de visiter leur chantier avec la lampe de sûreté, avant d'y laisser pénétrer leurs hommes avec des lampes à feu nu.

Le puisard du puits Marseille n'avait jamais été curé. Il s'y était accumulé, depuis 1889, toutes sortes de débris de bois, paille, charbon, remblais, huiles de graissage, fumier, etc. Il y avait, en plus, de l'eau dont on maintenait le niveau à 3 ou 4 mètres au-dessous de la recette de 406. Les débris de matières diverses accumulés au fond du puisard occupaient, une fois que toute l'eau a été enlevée, une hauteur de 12 à 13 mètres.

Le trou de sonde pratiqué à l'avancement du travers-bancs du puits Marseille était dirigé vers le haut ; il mesurait 30 millimètres de diamètre et avait une longueur de $4^m,60$. Il aboutissait à 7 ou 8 mètres du fond du puits. Le percement en fut achevé dans la nuit du 17 au 18 juillet 1894. Aussitôt l'eau commença à s'écouler en traversant toute la masse de détritrus accumulée dans le puisard. Cette eau répandait, paraît-il, une odeur infecte, et comme le trou de sonde était susceptible de

s'obstruer, les ouvriers du travers-bancs avaient la consigne de venir le curer de temps en temps pour assurer à l'eau un écoulement régulier. En attendant que cet écoulement fût terminé, l'entrepreneur, chargé d'effectuer le percement avec le puits Marseille, avait à exécuter, dans son travers-bancs, divers travaux de réparations, de boisage et de rebanchage.

Telle était la situation des travaux, lorsque, le 20 juillet 1894, vers six heures du soir, l'entrepreneur arriva au chantier pour le poste de nuit. A ce moment, l'extrémité des tuyaux d'aérage était à 4^m,70 de l'avancement. L'entrepreneur fit la visite du chantier avec sa lampe de sûreté, pendant que les deux ouvriers, qui devaient l'aider à rebancher le travers-bancs à quelques mètres de l'avancement l'attendaient à la jonction du travers-banc et du niveau de 456. Rien d'anormal n'ayant été constaté, les ouvriers se mirent à leur travail à 4 ou 5 mètres de l'avancement. A neuf heures du soir, les deux ouvriers quittèrent le chantier et furent remplacés par un troisième ouvrier qui continua le travail, aidé de l'entrepreneur. A ce moment, l'on dut faire enlever 10 mètres de tuyaux d'aérage qui rendaient difficile le passage de la benne. Vers une heure et demie du matin, l'ouvrier et l'entrepreneur suspendirent leur travail et se retirèrent pour se reposer à l'intersection du travers-bancs et du niveau 456 de la planche au toit. Une heure après, vers deux heures et demie, l'ouvrier seul retourna au chantier pour charger quelques bennes de déblais provenant de la sole de la galerie; il n'avait avec lui que sa lampe à feu nu. Après avoir travaillé pendant environ deux heures, il se dirigea vers l'avancement pour s'assurer que l'eau s'écoulait toujours du trou de sonde, et, pour mieux y voir, il voulut accrocher sa lampe à feu nu au chapeau du dernier cadre. Au même instant, il se produisit une petite flambée qui le brûla légèrement à la face, au thorax et aux bras.

Il se dirigea aussitôt du côté où se trouvait l'entrepreneur et le rencontra en chemin. Ce dernier avait entendu une détonation; sa lampe à feu nu avait été éteinte par la chasse d'air; il s'était néanmoins porté au secours du blessé, accompagné d'un autre ouvrier qui travaillait dans le même travers-bancs, côté du toit.

Celui-ci, muni d'une lampe de sûreté, se rendit aussitôt au chantier et le visita; en avant des tuyaux d'aérage, soit dans le cul-de-sac non aéré qui mesurait en tout 14 à 15 mètres de longueur, il ne constata aucune trace de gaz inflammable. Il présenta alors sa lampe à l'orifice du trou de sonde, et constata qu'il s'en dégagait une quantité de gaz inflammable suffisante pour que sa lampe fût éteinte. Les ingénieurs de la division de Montrambert furent aussitôt prévenus; ils firent prendre aux ouvriers de ce quartier des lampes de sûreté. Le seul travail que l'on fit au chantier consista à replacer la colonne de tuyaux. On venait de le terminer lorsque le contrôleur des mines arriva sur les lieux. A ce moment, il constata en couronne, tout près du front de taille, une proportion de gaz inflammable suffisante pour éteindre la lampe de sûreté. Le gaz marquait encore très nettement à peu de distance du débouché des tuyaux. Mais, au bout de trois quarts d'heure ou une heure, on ne voyait plus trace de gaz au chantier à la lampe ordinaire. A la lampe Chesneau, en se mettant en face du trou de sonde, la flamme indiquait 1,5 p. 100 de gaz; à 1 mètre en arrière et toujours près de la couronne, 0,75 p. 100. Des bouteilles pour prises d'essai furent remplies en ces deux points; analysées au laboratoire de l'École des mines de Saint-Étienne, elles ont donné la première 0,6 p. 100, la deuxième 0,5 p. 100. Cette divergence est peu importante et s'explique par l'agitation de l'air au voisinage du point de prise. A ce moment, d'ailleurs, le gaz ne marquait plus en couronne à la lampe ordinaire; à la

lampe Chesneau, il ne marquait pas plus en couronne qu'à la sole; il marquait plutôt moins en ces points qu'en face du trou de sonde.

Lorsque ces constatations eurent été faites, on reprit l'avancement, mais à petite section; car on était sur le point de percer avec le puits. Les jours suivants, on ne vit plus de gaz inflammable à la lampe ordinaire du moins.

Le percement avec la colonne du puits fut fait le 26 juillet; le 27 au matin, l'ingénieur des travaux visitait le chantier avec la lampe Chesneau, et y trouvait 1,2 à 1,5 p. 100 de gaz. Il s'était déjà formé à ce moment une cloche assez importante dans la vase du puits, mais on ne put voir ce qui s'y trouvait; cela aurait pu présenter quelques dangers.

Peu de jours après, les 6 à 7 mètres de vase qui recouvraient la recette (le percement était fait à 5^m,50 du fond) furent enlevés. Ce travail fut particulièrement pénible, à cause de la mauvaise odeur que dégagait cette vase presque entièrement composée de matières organiques en putréfaction.

Dès que le puits fut curé, l'air descendit par le puits Marseille et gagna les travaux de 456 par les travers-bancs en question.

Il y a lieu de remarquer que, dans le chantier où la flambée s'est produite, tout travail à l'avancement avait été arrêté depuis le 18 juillet (jour du percement aux eaux); que, depuis ce jour, on n'avait travaillé qu'à des rebanchages; et que, bien que la sole fût recouverte d'eau en bien des points, personne n'avait signalé de dégagements de gaz par cette sole. L'avancement était en ce moment en cul-de-sac de 4^m,70; les tuyaux aspiraient peu; et comme on n'allait à l'avancement qu'à d'assez longs intervalles pour curer le trou, on ne saurait dire que ce fût le mouvement des ouvriers qui améliorerait l'aérage du cul-de-sac.

Il semble difficile d'admettre que, dans ces conditions, si les terrains dans lesquels la galerie était creusée avaient dégagé du grisou, on ait pu ne pas s'en apercevoir du 18 au 21 juillet.

On doit remarquer, d'autre part, qu'au moment où l'on a mis le feu au gaz inflammable, la lampe était loin de la couronne (0^m,50 ou 0^m,60 au moins, étant donnée la longueur du crochet de la lampe). Il n'y a pas eu combustion régulière, comme il s'en produit lorsque le gaz se dégage lentement du toit et s'y accumule sans se mélanger à l'air; il y a eu détonation sourde, analogue, ont dit les témoins, à un coup de mine qui travaille, ce qui ferait supposer un brassage préalable. Cette détonation a été entendue par l'entrepreneur et a provoqué une chasse d'air qui s'est propagée jusqu'à lui avec une violence assez grande, bien que la distance fût d'environ 150 mètres. Lorsque l'on est revenu au chantier, au dire des témoins, il n'y avait pas de gaz en couronne, mais le trou de sonde en dégagait beaucoup. Il en dégagait encore douze heures plus tard quand le contrôleur des mines visita le chantier.

Ces diverses raisons portent à penser que l'on n'a pas eu affaire ici à un dégagement de grisou proprement dit, mais à un dégagement de gaz des marais provenant des débris et de la vase accumulés au fond du puisard du puits Marseille, gaz des marais qui s'est dégagé par le trou de sonde une fois que l'eau a cessé ou presque cessé de s'écouler. La quantité de matières organiques qui se trouvait dans le puisard et leur décomposition complète suffisent largement à expliquer cette production de gaz des marais.

NOTE

SUR

DES DÉGAGEMENTS DE GAZ INFLAMMABLES

SURVENUS

DANS DES MINES MÉTALLIQUES

NOTAMMENT DANS CELLE DE PONTPÉAN

Par M. LODIN, Ingénieur en chef des mines.

Des dégagements de gaz inflammables ont été constatés depuis longtemps déjà dans des mines autres que celles de combustibles. Il semble même que la première explosion signalée dans des travaux souterrains se soit produite dans une saline ; elle aurait eu lieu le 9 septembre 1664, à Hallstadt, d'après M. Posepny (*Oest. Zeitschr.*, 1885, p. 606). C'est seulement vingt ans plus tard que Robert Plot (*Natural history of Staffordshire*) publia les premières indications précises sur le dégagement du grisou dans les houillères.

L'ordre d'antériorité des descriptions ne correspond certainement pas à l'intensité relative des manifestations gazeuses. Si les exploitations de combustibles n'ont été gênées sérieusement par le grisou qu'à une époque récente, c'est que leur développement est moins ancien que celui des mines métalliques ou des salines : c'est aussi parce que leurs premiers travaux portaient sur des

zones superficielles, débarrassées de grisou par voie de diffusion dans l'atmosphère.

Aujourd'hui la situation est renversée : les dégagements de grisou ont acquis dans les houillères une intensité à laquelle rien, dans les manifestations analogues constatées dans les salines ou les mines métalliques, ne saurait être comparé.

Les dégagements de gaz inflammables sont cependant assez fréquents dans la deuxième catégorie d'exploitations : ils y causent des accidents qui présentent parfois une certaine gravité ; au point de vue théorique, ils offrent un intérêt qui justifierait à lui seul une étude spéciale.

Les observations que nous avons pu faire, pendant une période assez longue, sur les phénomènes de ce genre qui se produisent couramment à la mine de Pontpéan (Ille-et-Vilaine) nous ont amené à entreprendre cette étude. Elle comprendra d'abord un résumé des observations publiées antérieurement sur des faits analogues, puis une description du gîte de Pontpéan et des dégagements gazeux qui s'y sont produits à diverses époques, enfin l'étude des diverses hypothèses auxquelles on peut avoir recours pour coordonner l'ensemble des observations.

ANALYSE DES OBSERVATIONS ANTÉRIEURES.

Les manifestations de gaz inflammables constatées dans des mines autres que celles de combustibles ont donné lieu à de nombreuses publications disséminées dans divers recueils scientifiques et techniques ; parmi les résumés qui ont été faits de ces publications, nous devons citer ceux de M. l'inspecteur général Haton de la Goupillière (*Ann. des mines*, 7^e série, 1880, t. XVIII, p. 230), de M. Bennet H. Brough (*Trans. North of Engl.*

Inst. Min. Eng., 1889, t. XXXVIII, p. 59) et de M. Cl. Le Neve Foster (*A text-book of ore and stone mining*, 1894, p. 476).

Classification des dégagements de gaz inflammables.

— Il convient d'abord de mettre à part les dégagements d'hydrogène sulfuré, relativement peu fréquents et plutôt dangereux par les risques d'asphyxie que par ceux d'explosion.

En ce qui concerne les dégagements d'hydrocarbures gazeux, plus ou moins mélangés d'hydrogène, d'azote ou d'autres gaz inertes, on peut établir trois subdivisions, correspondant à des origines distinctes :

- 1° Décomposition des boisages dans de vieux travaux ;
- 2° Émanations provenant des roches encaissantes, chargées de matières bitumineuses ou contenant des lits de combustibles minéraux ;
- 3° Imprégnation du gîte lui-même par des gaz dont l'origine ne saurait être attribuée à une cause extérieure.

Nous laisserons de côté les dégagements de gaz inflammables qui peuvent se produire dans les exploitations de pétrole, d'ozokérite, de schistes bitumineux, etc., ainsi que ceux d'acide carbonique, fréquents à Pontgibaud, dans l'île de Man, dans les districts plombeux du Shropshire et d'Alston Moor, dans les solfères de Sicile, etc. Nous n'insisterons pas davantage sur les cas d'absorption d'oxygène soit par les pyrites, comme à Huelgoat, à la Touche (Ille-et-Vilaine), etc., soit par les matières organiques.

Ces divers phénomènes constituent des catégories bien distinctes de celles que nous voulons étudier : les dégagements d'acide sulfhydrique semblent au contraire se rattacher intimement à ceux d'hydrogène carburé ; aussi nous semble-t-il utile de leur consacrer quelques lignes.

Dégagements d'hydrogène sulfuré. — L'acide sulfhy-

drique pourrait donner lieu à des explosions, tout comme le grisou, s'il se rencontrait en abondance dans les mines ; ces explosions seraient même plus difficiles à éviter, à cause du peu d'élévation du point d'inflammation de ce gaz. Mais, en fait, on ne signale aucun accident de ce genre que l'on puisse attribuer avec certitude à l'acide sulfhydrique ; il n'en est pas de même des cas d'intoxication, fréquents dans les mines de Sicile.

Heureusement qu'en dehors de ces mines les dégagements d'hydrogène sulfuré sont rares et peu intenses. On a cependant classé quelquefois parmi les phénomènes de cette nature, des dégagements gazeux qui, d'après Héricart de Thury, se seraient produits en mars 1833 au cours d'un sondage exécuté près de Conegliano, et auraient produit une flamme de plus de 10 mètres de hauteur (*Ann. des mines*, 3^e série, t. IV, p. 519). Mais lorsqu'on se reporte au texte original, on est amené à admettre qu'en réalité il s'agissait là de dégagements d'hydrocarbures, tels qu'il s'en produit dans les sondages ayant pour but la recherche du pétrole.

Les dégagements analogues signalés par Héricart de Thury, dans la même note, comme s'étant produits au cours du forage de divers puits artésiens de la région située au nord de Paris ne sont pas non plus d'une nature bien définie. D'après des renseignements que nous devons à l'obligeance de M. Paulin Arrault, il se dégage assez souvent de l'hydrogène sulfuré quand on recoupe par sondage les marnes lacustres du calcaire de Saint-Ouen, les zones supérieures des marnes et caillasses du calcaire grossier et surtout les sables pyriteux de l'argile plastique, mais ces émanations ont une intensité très faible et communiquent simplement aux eaux une odeur sulfureuse plus ou moins intense. Il est possible que leur intensité ait été plus grande au commencement de ce siècle, époque où les nappes du bassin parisien n'étaient pas

encore drainées par de nombreux sondages ; mais on ne saurait rien préciser à cet égard, d'autant plus que le texte d'Héricart de Thury permet de supposer que les dégagements mentionnés se composaient surtout d'hydrocarbures gazeux.

Bien que ce point soit un peu en dehors du cadre de notre étude, il convient de remarquer que la présence de l'hydrogène sulfuré a été constatée dans diverses mines de combustible minéral, notamment à Sumène, à Molières, à Lalle (bassin houiller d'Alais), et dans les mines de lignite du bassin de Manosque (*Comptes rendus de la Soc. de l'Ind. min.*, 1879, p. 6). Dans cette dernière localité, la présence du gaz a été caractérisée par le noircissement rapide d'objets en argent ; elle n'a d'ailleurs rien de surprenant dans l'exploitation de lignites qui tiennent jusqu'à 16 p. 100 de soufre, d'après une analyse que nous en avons faite, et qui se trouvent au voisinage immédiat d'assises contenant une forte proportion de soufre natif. Le délavage de ces assises par les eaux atmosphériques, très net aux affleurements, donne naissance à des sources sulfureuses bien caractérisées.

Les seules mines où les dégagements d'hydrogène sulfuré soient réellement fréquents sont les mines de soufre de Sicile. Ils y sont même fort dangereux, car l'apparition du gaz est si brusque que les ouvriers sont saisis par l'asphyxie au moment même où ils commencent à sentir l'odeur caractéristique du gaz.

D'après une communication que nous devons à l'obligeance de M. G. Friedel, les dégagements sulfhydriques auraient été, en Sicile, de 1883 à 1888 inclusivement, l'origine de quinze accidents distincts ayant entraîné la mort de 17 ouvriers et causé des indispositions graves à 14 autres.

D'après Becker (*Geol. of the Quicksilver deposits*, p. 339), on aurait rencontré, à 3.000 pieds de profondeur,

dans le grand filon Comstock, des eaux chargées d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré, sortant à une température de 77° C. sans que d'ailleurs il en soit résulté aucun accident.

M. Le Neve Foster cite d'autres faits analogues : à la mine de cuivre de Ducktown (Tennessee) ; à Stassfurt, où deux dégagements d'acide sulfhydrique arrivés au cours du fonçage d'un puits, auraient causé la mort, l'un de 8, l'autre de 7 ouvriers ; aux mines d'ozokérite de Boryslav et aux mines d'or de Gympie (Queensland), où se seraient produits des accidents mortels.

Tous ces accidents, comme ceux de Sicile, se sont produits par asphyxie ; aucun auteur, à notre connaissance, ne cite d'explosion attribuable, à un degré quelconque, à la présence d'hydrogène sulfuré.

Production de gaz combustibles par décomposition des boisages. — Dans quelques cas, il est assez difficile de reconnaître si les dégagements de gaz combustibles proviennent des roches encaissantes, ou s'ils sont dus, au contraire, à la décomposition des vieux bois de mine.

On peut, par exemple, se demander si ce n'est pas à cette dernière cause qu'il faut attribuer le phénomène mentionné par d'Aubuisson, dans sa description des mines de Huelgoat (Finistère) : « Lorsqu'on débouchait des pompes qui étaient restées quelques temps dans l'inaction, il fallait user de quelques précautions parce que l'air qui en sortait prenait feu aisément » (*Journal des mines*, t. XXI, p. 104).

On employait à cette époque, dans la mine d'Huelgoat, des corps de pompe en bois ; il est donc possible que ce soit à l'altération de cette substance qu'on doive attribuer la production de gaz inflammables, étant donné surtout qu'aucune description postérieure du gîte n'a

mentionné de dégagements gazeux émanant directement du remplissage du filon.

On doit, à notre avis, interpréter de la même manière les indications fournies par M. Daubrée, d'après M. Furiet, au sujet des mines de Giromagny (*Ann. des mines*, 4^e série, t. XIV, p. 34). En mars 1845, il se produisit une inflammation de gaz au moment où l'on rentrait dans les anciens travaux du filon du Grand-Saint-Jean, travaux abandonnés depuis de longues années. M. Daubrée affirme, il est vrai, qu'il n'existait pas de bois dans la mine ; mais cette affirmation est de nature à soulever quelques doutes, étant donné que le filon avait été exploité jusqu'à 400 mètres de profondeur et qu'aucun autre dégagement gazeux ne s'y est produit par la suite.

Les deux explosions arrivées à Rocca Tederighi (Toscane), en 1875 et 1877, et rapportées par M. Charlon (*Comptes rendus de la Soc. de l'Ind. min.*, 1879, p. 5), paraissent bien devoir être attribuées à la décomposition des bois. L'exploitation portait sur un gîte de cuivre pyriteux encaissé dans la serpentine : aucun dégagement de gaz n'y avait été signalé avant ou après les deux accidents ci-dessus, arrivés l'un et l'autre au moment où l'on perçait dans de vieux travaux.

Les trois accidents décrits par M. Tittel à une réunion de l'Association minière de Freiburg, tenue le 6 avril 1882 (*Berg. und H. Zeitung*, 1882, p. 226), présentent de grandes analogies avec ceux de Rocca Tederighi ; pour l'un d'entre eux, arrivé le 11 mars 1872, à Sanct-Johannes-Fundgrube, Rebhübel, district de Schwarzenberg, l'identité est presque absolue. Comme à Rocca Tederighi, le dégagement de gaz s'est produit au cours d'une rectification de galerie d'écoulement, au moment où la voie nouvelle venait de percer dans de vieux travaux et de provoquer l'écoulement des eaux qui remplissaient ceux-ci : seulement l'accident de Rebhübel a

entraîné la mort d'un ouvrier et causé des blessures graves à un autre, tandis que ceux de Rocca Tederighi n'avaient causé aucun accident de personnes.

Les deux autres accidents sont arrivés au moment où l'on faisait écouler l'eau accumulée depuis longtemps derrière un serrement. L'un s'est produit en 1882, à la mine Churprinz Friedrich August, Gross Schirma ; le serrement était en pression depuis 1859. L'autre a eu lieu à la galerie Alte Hoffnung Erbstollen, à Schönborn, au commencement de 1882, avec un serrement installé depuis trois ans seulement. Dans les deux cas, l'écoulement de l'eau fut accompagné d'un abondant dégagement de gaz, donnant lieu à la production d'une flamme de plusieurs mètres de long. A Gross Schirma, cette flamme avait brûlé la barbe et les cheveux des ouvriers les plus rapprochés ; à Schönborn, elle n'a causé aucun accident de personnes.

Dans ces trois exemples, comme dans ceux de Rocca Tederighi, on ne peut guère faire autrement que d'attribuer la production de gaz inflammable à la décomposition des boisages. Cette explication s'impose encore davantage dans le cas de l'accident de Ding-Dong, décrit par M. Samuel Higgs (*Trans. of the Geol. Soc. of Cornwall*, t. IX, p. 34). La mine d'étain de Ding-Dong est située au milieu du massif granitique de Penzance, à une distance de plus de trois kilomètres des schistes qui entourent ce massif ; elle est exploitée d'une manière intermittente depuis une époque très ancienne.

En 1864, on avait entrepris de rentrer dans les travaux du filon Ishmael, par la communication établie autrefois au niveau de 50 fathoms (91 mètres), entre ces travaux et la mine principale de Ding-Dong, profonde de 70 fathoms (127 mètres) à cette époque. Ce niveau une fois relevé, deux ouvriers essayèrent de pénétrer dans les travaux du puits Ishmael ; à peine y étaient-ils

engagés qu'une violente explosion les renversa en leur causant des brûlures graves. Quelques jours après, le directeur, captain Williams, voulut se rendre compte de l'état de l'atmosphère dans les vieux travaux en y engageant une chandelle fixée au bout d'une longue perche : il provoqua une deuxième explosion, plus intense que la première.

Immédiatement après cette explosion, le captain Thomas Daniel, supposant que le gaz accumulé était complètement brûlé, crut pouvoir avancer en s'éclairant avec une chandelle : il détermina ainsi une troisième explosion plus violente que les précédentes, et se fit blesser très grièvement.

On attendit l'arrivée de lampes de sûreté pour rentrer dans les vieux travaux ; ces lampes manifestèrent les symptômes ordinaires de la présence du grisou, c'est-à-dire d'abord une auréole bleuâtre autour de la flamme, puis un allongement considérable de celle-ci qui finissait par remplir tout le tamis. La visite des anciennes excavations y fit constater l'existence de nombreuses cloches dont les parois n'avaient pas été mouillées par l'eau qui remplissait la mine et où par suite le gaz avait dû s'accumuler. Une fois la mine remise en état, on cessa d'y constater la présence de gaz inflammable ; cela confirme l'opinion de M. Samuel Higgs, qui attribuait les explosions de Ding-Dong à la décomposition des vieux boisages.

D'après le même auteur, l'*Arminian Magazine* de novembre 1791 mentionnerait une explosion, arrivée vers cette époque dans une mine du Cornwall, explosion qui aurait causé la mort de dix-sept ouvriers et projeté le chevalement du puits sur une chaumière située à une certaine distance. Malheureusement le journal cité n'indiquait exactement ni le lieu, ni la date, ni les circonstances de cette explosion extraordinaire, d'une intensité

comparable à celle des plus violentes explosions de houillères, si la description en est bien exacte.

Dégagements de gaz dans les salines. — On a vu que le plus ancien exemple d'explosion souterraine de gaz semble avoir été fourni par la saline de Hallstadt. C'est que les gites de sel sont imprégnés de gaz combustible tout aussi normalement que les gites de combustibles ou que les schistes bitumineux ; à Stassfurt, à Wieliczka et dans une foule d'exploitations analogues, on a constaté que les inclusions du sel contenaient, avec de l'hydrogène et de l'acide carbonique, des hydrocarbures liquides.

Dans les salines de Marmaros (Hongrie), à Gottesgabe près Rheine (Westphalie), à Bex (Suisse), on a pu capter le gaz dégagé par certaines fissures et l'utiliser pour l'éclairage.

En ce qui concerne Bex, il convient cependant de faire quelques réserves sur l'origine exacte du gaz ainsi capté ; d'après M. Brunet (*C. R. de la Soc. de l'Ind. minérale*, 1882, p. 130), le gaz proviendrait surtout du toit et du mur du gite ; mais, d'une manière générale, on peut dire que les gites de sel et leurs roches encaissantes sont imprégnés d'hydrocarbures gazeux ou liquides, souvent accompagnés d'hydrogène.

Ce fait s'explique facilement par la théorie admise aujourd'hui au sujet de l'origine de ces gites. Le sel a dû se déposer au fond de lagunes littorales, isolées de la haute mer par un seuil voisin de la surface des eaux ou dans des bassins complètement fermés. Les zones profondes de semblables lacs ou lagunes ne sont soumises à aucun renouvellement régulier ; les matières organiques qui viennent s'y déposer sont donc soustraites à l'action de l'oxygène et soumises aux phénomènes spéciaux d'altération qui se développent en pareille circonstance : elles donnent des hydrocarbures qui imprègnent les sédiments formés dans ce milieu.

Malgré la présence presque constante du grisou dans les mines de sel, les explosions sont assez rares dans ces mines; il y en a eu quelques-unes à Stassfurt (Le Neve Foster, *Ore and stone mining*, p. 478), mais elles semblent n'avoir eu aucune gravité. Il faut sans doute attribuer cette innocuité relative des dégagements gazeux dans les mines de sel aux énormes sections des galeries de ces mines et aux facilités qui en résultent pour la ventilation.

Dégagements d'hydrocarbures dans les mines de soufre.

— Les dégagements d'hydrocarbures dans les mines de soufre sont presque aussi fréquents que dans les mines de sel; on se l'explique facilement d'après l'analogie d'origine qui existe entre les deux catégories de gisements, souvent associés dans les mêmes niveaux géologiques.

En Sicile, ces dégagements amènent souvent des accidents graves; on y cite une explosion de grisou qui a fait 60 victimes.

D'après une communication de M. G. Friedel, les accidents de cette nature ont été au nombre de 14, de 1883 à 1888 inclusivement, dans les solfères de Sicile; ils ont tué 13 ouvriers et en ont blessé 21.

Dans la même période, les dégagements d'acide carbonique avaient été au nombre de cinq dans les mêmes mines et avaient fait cinq victimes.

Dégagements de gaz provenant des roches encaissantes.

— Dans quelques cas, les dégagements de gaz qui se produisent au cours de l'exploitation des gîtes métallifères de nature sédimentaire ont pour origine probable certaines couches imprégnées d'éléments organiques et situées soit au mur, soit au toit du gîte lui-même.

Un cas où il ne saurait y avoir à cet égard aucun doute

est celui signalé par M. Ch. Taylor (*Proc. Inst. Mech. Engin.*, 1873, p. 159). Dans une curieuse exploitation d'alluvions stannifères entreprise à cette époque sous les vases de l'estuaire dit Restronguet Creek, près Truro (Cornvall), on a constaté fréquemment des dégagements d'un gaz inflammable qui a pris feu deux fois, sans causer, à ce qu'il semble, aucun accident de personnes. Le gaz ne provenait évidemment pas de l'alluvion stannifère, mais bien des vases qui la recouvraient. Ces vases exerçaient d'ailleurs sur l'oxygène de l'air une action absorbante assez énergique pour amener fréquemment l'extinction des lumières dans les travaux.

Des dégagements de gaz, accompagnés d'explosions, se sont produits autrefois, d'après M. Daubrée (*Ann. des mines*, 4^e série, t. XIV, p. 33), dans les gîtes de fer pisolitique d'Alsace, à Winckel, et à Gundershoffen. Il est vrai qu'un des deux accidents signalés à Winckel n'a pas une origine parfaitement définie; arrivé en 1832, au moment où l'on rentrait dans de vieux travaux, il pourrait être attribué à la décomposition du boisage. Il en est autrement du second accident, arrivé le 27 juin 1846; cette fois un maître mineur fut légèrement brûlé en allant examiner un fort jaillissement d'eau qui se produisait à l'avancement d'une galerie. Évidemment ici le gaz qui s'est enflammé ne pouvait provenir de vieux travaux; il accompagnait des eaux qui avaient traversé une argile gris clair située au toit du gîte. A Gundershoffen, il est probable, d'après les indications fournies par M. Daubrée, que le gaz provenait non pas du toit, mais du mur, formé de marnes bitumineuses; ces marnes avaient donné lieu antérieurement à des dégagements analogues à Lichweg (principauté de Schaumburg). Il s'est produit à Gundershoffen plusieurs explosions dans le premier quart de ce siècle; la plus grave, survenue en 1824, blessa plusieurs mineurs.

Dans la mine de fer de La Voulte (Ardèche), on a rencontré plusieurs fois des fissures débitant des quantités importantes de grisou. D'après M. Castel (*Ann. des mines*, 5^e série, t. VI, p. 94), un accident dû à cette cause se produisit en novembre 1853, dans une remontée oblique qui suivait la limite ouest de la grande lentille de minerai de fer, à partir du niveau Dumas. A 19 mètres de ce niveau, la remontée rencontra une faille dirigée vers le nord-est; il en sortit, avec un léger sifflement, du gaz qui s'alluma aux étincelles produites par un coup de pic et brûla avec une flamme de 0^m,50 de long, bleue à la base, jaune rougeâtre au sommet, sans odeur d'acide sulfureux. On évacua la galerie et on laissa la flamme s'éteindre par l'accumulation des produits de la combustion au sommet de la remontée. Au bout de deux heures, le maître mineur voulut rentrer avec une lampe : une violente explosion se produisit et le brûla grièvement. On prit alors le parti de barrer la remontée par le bas et de reprendre le travail par l'extrémité supérieure; au moment où le percement se fit, on ne trouva plus aucun indice de gaz à la lampe de sûreté. On doit en conclure à un épuisement rapide du gaz emmagasiné dans la région que drainait la faille.

D'après M. Ch. Ledoux (*Étude sur les terrains triasiques de l'Ardèche*, p. 32), un phénomène tout à fait analogue se produisit en 1856 à l'avancement d'un niveau intermédiaire entre les niveaux dits du Colombier et de la descente; à la rencontre d'une faille orientée N. 20° E., il se produisit un abondant dégagement de gaz qui, une fois enflammé, brûla pendant dix jours.

D'après M. Castel, ces manifestations gazeuses auraient pour origine des veines très minces de lignite gras, qui existent dans les marnes noires encaissant le gîte. Il convient cependant de rapprocher des dégagements gazeux observés à La Voulte la présence fréquente, dans le gîte

analogue de Privas, de bitume accumulé dans des géodes.

Des dégagements de gaz combustibles, peu importants d'ailleurs, se sont produits à plusieurs reprises dans la grande couche de minerai de fer exploitée dans le Cleveland (North Yorkshire); ils peuvent être attribués à la présence d'une couche de lignite au toit du gîte, couche qui a été exploitée à Whitby.

Une des régions métallifères qui ont donné lieu aux explosions de gaz les plus nombreuses et les plus graves est celle du Derbyshire. Les filons de galène qui y sont exploités depuis plusieurs siècles sont encaissés dans les assises du calcaire carbonifère, formées dans cette région d'alternance de calcaires et de schistes souvent bitumineux (Yoredale shale). Les galeries d'écoulement ouvertes pour assécher les mines de plomb traversent les zones schisteuses, aussi leur percement a-t-il donné lieu fréquemment à des inflammations de gaz et parfois à des explosions graves. Dans une de ces galeries, dite Stoke Sough, des accidents de cette nature, entraînant mort d'homme se produisirent en 1732, 1734 et 1778; la galerie connue sous le nom d'Hillcar Sough, près Youlgreave, a été, au XVIII^e siècle, le théâtre d'une explosion violente qui causa la mort de plusieurs ouvriers; depuis cette époque jusqu'à nos jours, les dégagements de gaz ont continué à se produire par des fissures du terrain.

Fréquentes dans la traversée des roches encaissantes, les explosions sont plus rares au cours de l'exploitation des filons eux-mêmes; cependant elles n'y sont pas sans exemple. Celles de la mine de Mill Close, décrites par M. Brough (*Trans. North of Engl. Min. Eng.*, t. XXXVIII, p. 59) et par M. Stokes (*Reports of H. M. Inspectors of Mines for the year 1887*), ont présenté une gravité particulière.

Cette mine, exploitée antérieurement à 1684, avait eu

à lutter, au cours du XVIII^e siècle, contre une venue d'eau fort importante, qui en avait finalement entraîné l'abandon; reprise en 1860, elle a été depuis cette époque la mine la plus productive du district. Le filon exploité, puissant de plusieurs mètres, est riche surtout dans le calcaire; cependant les travaux s'y étendent parfois jusqu'au niveau des schistes supérieurs (Yoredale shale).

Depuis la reprise de l'exploitation, on avait souvent constaté à Mill Close la présence de gaz inflammables, mais en quantité insignifiante. En 1886, il se produisit une explosion qui brûla légèrement deux mineurs; deux autres accidents analogues eurent lieu dans une période d'environ une année à partir de la date du premier.

Les dégagements de gaz se produisaient avec une grande intensité à divers avancements et spécialement dans les remontées dirigées vers les schistes; pour éviter autant que possible les accidents, on prescrivit l'emploi de lampes de sûreté cadennassées partout où le gaz se montrait, mais on omit de réglementer l'emploi des explosifs. C'est à cette omission qu'on a attribué l'origine du grave accident arrivé le 3 novembre 1887.

Cet accident se produisit dans un avancement mené, avec une largeur de 6 mètres, sur une hauteur égale que l'on subdivisait ensuite, au moyen d'un plancher recouvert de remblai sur 1^m,50 d'épaisseur, en une galerie de roulage de 2^m,40 de haut et une voie supérieure d'aérage. Des tuyaux en tôle, de 0^m,30 de diamètre, obligeaient l'air à venir circuler au contact immédiat du front.

Chaque équipe était composée de quatre mineurs, munis de lampes de sûreté, et de deux rouleurs, porteurs de lampes à feu nu, auxquels il était interdit de s'approcher de l'avancement à une distance inférieure à 10 mètres.

Une équipe vint prendre son service le 2 novembre à minuit; elle constata dans toute la partie supérieure du chantier la présence du gaz, qui y avait été d'ailleurs

reconnu une heure auparavant par un surveillant spécial et signalé aux ouvriers lors de leur descente. Le travail fut néanmoins commencé comme à l'ordinaire. On employait la dynamite avec des mèches de sûreté; on prenait seulement la précaution de mettre le feu à celle-ci au moyen d'un papier spécial, à combustion lente, que l'on allumait préalablement dans la partie inférieure de la galerie. Un premier coup de mine fut tiré sans accident; les ouvriers en préparèrent trois autres à une distance du toit comprise entre 1 mètre et 1^m,20, c'est-à-dire dans la zone reconnue grisouteuse; ils les chargèrent, les allumèrent et se retirèrent à 50 yards (45 mètres) en arrière de la galerie inférieure, en un point où se tenaient déjà les deux rouleurs.

D'après le témoignage du seul survivant de l'accident, le premier coup de mine fut suivi d'un bruit analogue à celui d'un violent coup de vent. Le plancher s'effondra sur une longueur de quelques mètres, juste au-dessus du point où se tenaient les ouvriers; cinq d'entre eux furent écrasés sous le remblai; le sixième subit des brûlures et des contusions médiocrement graves, puisqu'il put se trainer jusqu'au puits et revenir ensuite sur le lieu de l'accident.

Les effets mécaniques de l'explosion furent assez intenses; une porte d'aérage fut mise en pièces à 70 mètres environ de distance de l'avancement. Une boîte de bois renfermant une vingtaine de cartouches de dynamite, amorces renfermées dans une boîte en fer-blanc et un rouleau de mèches, se trouvait sur le remblai à 20 mètres de l'avancement; cette boîte fut mise en pièces, les amorces disparurent sans qu'on en pût retrouver le moindre débris; le rouleau de mèches fut brûlé en grande partie, mais on aurait, dit-on, retrouvé toutes les cartouches intactes. On peut douter de cette affirmation émise au cours de l'enquête et se demander si ce ne

serait pas l'explosion d'un paquet de cartouches qui aurait effondré le plancher d'une manière si singulièrement localisée.

La découverte de chandelles à l'étage supérieur, mentionnée au cours de l'enquête sans détails et sans explications bien nettes, laisse également subsister quelques doutes sur les circonstances précises de l'inflammation des gaz, mais ce point n'a pas de rapport direct avec le sujet qui nous occupe.

Dans le district minier de Flintshire, les filons de galène et de blende, encaissés dans le calcaire carbonifère, sont le siège de dégagements gazeux analogues à ceux du Derbyshire, un peu moins actifs peut-être.

A la mine d'Holway Consols, près Holywell, deux accidents ont été causés par des explosions de grisou. D'après M. Le Neve Foster (*Reports of H. M. Inspectors of Mines for the year 1884*, p. 204), un premier accident de ce genre s'était produit, en 1869, dans un chantier situé au-dessus du niveau de 100 yards du puits Eyton, puits foncé en 1865-1866, et avait causé la mort d'un ouvrier. La mine fut abandonnée en 1870, puis ouverte à nouveau en 1882. Le 21 janvier 1884, une nouvelle explosion se produisit à l'avancement nord du niveau de 110 yards, à une distance de 110 yards environ du puits Eyton. Depuis quatre mois on constatait la présence du grisou à cet avancement; un surveillant spécial, habitué à reconnaître ce gaz dans les houillères, avait été chargé de vérifier chaque matin, au moyen d'une lampe Davy, si l'atmosphère du chantier n'était pas dangereuse. Le jour de l'accident, vers quatre heures du matin, il avait observé au-dessus de la flamme de la lampe une légère auréole bleue en deux points du niveau, sur une hauteur d'environ 0^m,45 à partir du ciel de la galerie. Il fit manœuvrer un petit ventilateur à bras, installé dans le niveau. Entre sept et huit heures du matin, toute trace de grisou

avait disparu. Deux ouvriers vinrent alors prendre leur poste et travaillèrent quelque temps à l'avancement; ils y revenaient vers neuf heures, après une courte absence, lorsqu'une flambée se produisit et les brûla légèrement à la figure. M. Le Neve Foster visita le lieu de l'accident peu de temps après, mais il ne réussit pas à y constater la présence du gaz au moyen de la lampe Pieler. Les travaux ont été abandonnés depuis et par suite les observations n'ont pu être continuées.

A la mine voisine, dite *Great Holway Mine* et située à l'est d'Holway Consols, on a constaté, le 22 mars 1895, un dégagement de grisou au toit du travers-bancs du niveau de 95 yards. Deux jours après, M. Le Neve Foster ne put reconnaître aucune trace de ce gaz.

L'origine de ces manifestations hydrocarburées pourraient à la rigueur être attribuée à la présence des houillères au toit des couches encaissant le gîte.

Le puits Eyton, d'Holway Consols, avait traversé les assises du Millstone Grit, formées de calcaire siliceux (chert), de grès et de schistes, avant d'atteindre le calcaire carbonifère au niveau duquel on exploite un filon orienté nord-sud. Au-dessus du Millstone Grit, dans la direction du nord-est, se développe le bassin houiller du Flintshire, mais ses assises productives sont assez éloignées pour qu'on doive mettre quelque réserve à y chercher l'origine des dégagements constatés à Holway.

Gîtes de mercure. — Les gîtes de mercure ont donné lieu assez souvent à des dégagements de gaz combustibles, ce qui n'a rien de surprenant étant donné le rôle que jouent les matières bitumineuses dans la constitution de ces gîtes. Malgré l'abondance de ces matières à Idria, on n'a signalé jusqu'ici dans cette localité aucune manifestation d'hydrocarbures gazeux; il en est de même à Almaden, à Nikitofka et dans la région du Monte-Amiata.

En Californie, au contraire, de nombreux dégagements gazeux ont été constatés ; ils ont été mentionnés par M. Becker (*Geol. of Quicksilver deposits of the Pacific slope*).

A New-Idria (*loc. cit.*, p. 308), une explosion meurtrière se produisit lors du percement du Bell Tunnel, pendant la traversée des *chico-beds*, grès d'un gris rougeâtre, d'âge danien, contenant quelques rares fossiles d'origine animale, mais sans débris végétaux. Les schistes métamorphiques encaissant les gîtes eux-mêmes renferment quelques empreintes de plantes, mais ne présentent nulle part une apparence bitumineuse.

Le niveau éocène des *tejon-beds*, supérieur aux *chico-beds*, contient au contraire une couche de combustible qui affleure à San Carlos Creek, mais la distance qui sépare cette région du Bell Tunnel est telle qu'il est bien difficile d'attribuer à ce niveau de combustibles l'origine de l'accident signalé par M. Becker.

Dans la région cinabrifère, située au nord de San-Francisco (Napa, Great Western, Phœnix, OEtna, etc.), la corrélation entre les dégagements hydrocarbonés et la formation des gîtes eux-mêmes est beaucoup plus nette.

A OEtna et à Phœnix Mine, il se dégage fréquemment du formène. Dans cette dernière exploitation, le gaz inflammable, observé aux niveaux de 150 et de 300 pieds, avait la composition suivante, d'après le docteur Melville :

C ² H ⁴	61,49
CO ²	0,74
Az.	31,44
O.	6,33
Total	100,00

Les gangues du gîte sont un schiste fortement silicifié et une calcédoine opaline, noire ; le cinabre y est accom-

pagné par une résine analogue à de la poix (napalite), bouillant vers 350° et contenant :

Carbone	89,84
Hydrogène	10,17
Total	100,01

La corrélation entre la présence de cet hydrocarbure solide et celle des hydrocarbures gazeux ne paraît pas douteuse.

DÉGAGEMENTS D'ORIGINE NETTEMENT FILONNIENNE.

Duncan Mine. — Les manifestations gazeuses constatées à la Duncan Mine (Port Arthur-Thunder Bay-Lake Superior) et décrites par M. W. Courtis (*Trans. Am. Inst. Min. Eng.*, 1887, p. 671), semblent bien, sous quelques réserves, émaner directement du filon métallifère.

Le gîte exploité est un filon presque vertical, qui coupe les couches huroniennes, sensiblement horizontales, et les rejette de 30 mètres environ suivant la verticale, avec descente du toit sur le mur. Près de l'affleurement, le toit du gîte était formé par un schiste noir, très carboné ; le remplissage du gîte lui-même se composait de calcite avec une forte proportion d'argent natif ; en profondeur, là où les épontes étaient formées de schistes argileux ou de roches amphiboliques, le remplissage était pauvre en argent et ne contenait plus que du quartz avec pyrite, blende et galène.

A plusieurs reprises, on a rencontré dans le filon des cavités contenant du gaz combustible accumulé sous de fortes pressions ; malheureusement, M. Courtis ne donne aucun détail des phénomènes accompagnant le dégagement de ce gaz et notamment ne dit pas si ce dégagement était particulièrement intense dans les zones

supérieures du gîte. S'il en avait été ainsi, on aurait pu conclure à une relation intime entre ce phénomène et l'existence de schistes bitumineux au toit.

Silver Islet.— La mine de Silver Islet, exploitée il y a une vingtaine d'années dans un îlot voisin de la rive nord du lac Supérieur, près de l'extrémité ouest de ce lac, a été le siège de dégagements gazeux plus intenses que les précédents. D'après M. Macfarlane (*Trans. Am. Inst. Min. Eng.*, 1880, p. 241), le filon exploité coupe transversalement un gros filon de diorite encaissé lui-même dans des couches fort anciennes, sensiblement horizontales, formées de grès blancs et rouges et de schistes tabulaires (flags). Pauvre en dehors de la diorite, il présentait dans cette roche une colonne très riche formée principalement de calcite avec argent natif et sulfure d'argent, accessoirement d'un peu de quartz et de galène médiocrement argentifère; cette colonne riche s'est refermée vers le 8^e niveau, c'est-à-dire vers 130 mètres de profondeur.

Le 28 décembre 1875, l'avancement de ce niveau perça dans une grande géode d'où sortit, avec une certaine quantité d'eau, un jet de gaz qui donna une flamme d'une douzaine de mètres de long. On capta le gaz qui se dégageait; pendant plusieurs semaines, la flamme persista à l'orifice de captage, avec une longueur d'environ 30 centimètres.

À Silver Islet, l'influence de la diorite sur l'enrichissement du filon métallifère est très nette, mais il est difficile d'attribuer à cette roche l'origine du dégagement gazeux; on ne peut guère davantage l'attribuer aux grès et schistes tabulaires (flags), sur la nature desquels on n'a d'ailleurs pas d'indications bien précises.

Morro Velho. — Il en est de même à Morro Velho (Brésil), où se sont produits, au commencement de 1860, des dégagements gazeux décrits par M. Thomas Treloar

(*Trans. Geol. Soc. of Cornwall*, t. VII, p. 345). Le grand gîte aurifère de Morro Velho (voir de Bovet, *Ann. des mines*, 8^e série, t. III, p. 134), est constitué par une puissante colonne de quartz, avec pyrite arsenicale, encaissée dans des schistes gris, durs, d'âge fort ancien, reposant presque immédiatement sur les micaschistes. Ces schistes ne renferment aucun débris organique et, d'après les indications que M. de Bovet a bien voulu nous donner, ne contiennent nulle part de matière bitumineuse en proportion appréciable.

Au commencement de 1860, au moment où l'on forait, à la profondeur de 190 mètres, un trou de mine au voisinage du mur du gîte, on vit se produire à l'orifice du trou une flamme d'un bleu pâle. En retirant le fleuret, on provoqua l'allongement de la flamme jusqu'à une distance de 0^m,25 à 0^m,30 de l'orifice; au bout d'une minute, la flamme se raccourcit peu à peu et finit par s'éteindre. On put la rallumer quelques minutes après, mais son intensité fut beaucoup moindre cette fois. La flamme était bleue quand elle était courte; elle se colorait en jaune lorsqu'elle avait une certaine longueur.

Le tirage du coup de mine mit à découvert une veine de quartz, épaisse de 0^m,15 environ, coupant transversalement les plans de clivage du schiste du mur et criblé de cavités. On boucha le mieux possible ces cavités avec de l'argile, puis on fora un peu plus loin un deuxième coup de mine parallèle au premier. On obtint un dégagement de gaz inflammable tout à fait analogue.

Mine de Van.— La mine de Van, située à 4 kilomètres environ au nord-nord-ouest de Llanidloes (Mongomeryshire), est le siège d'abondants dégagements gazeux qui semblent en relation intime avec la formation métallifère elle-même (Cf. Le Neve Foster, *Trans. Geol. Soc. of Cornwall*, t. X, p. 36).

Le filon exploité à Van est une immense fracture qui paraît s'étendre sur une quinzaine de kilomètres en direction et dont la puissance atteint parfois 12 à 15 mètres. Cette fracture est orientée N. 74° E. et plonge vers le sud sous un angle de 74°. Elle coupe obliquement les couches du silurien inférieur, formées principalement de schistes compacts plongeant vers l'est-sud-est.

Le filon lui-même se compose de trois parties :

1° Au mur (côté nord), le vrai filon (regular lode), formé de quartz, galène et blende, avec un peu de pyrite ordinaire ou cuivreuse et de calcite, le tout servant de ciment à une brèche de débris schisteux.

2° Dans la zone moyenne, le faux filon (bastard lode) constituant la masse principale du gîte, sinon sa partie la plus productive; sa puissance est ordinairement de 8 à 9 mètres. Séparé du vrai filon par une fissure de glissement ou parfois par une veine de quartz calcédonieux jaunâtre, avec un peu de blende, il est formé presque exclusivement de débris de schiste plus ou moins altéré. On y rencontre parfois des veines irrégulières de galène à grandes facettes qui le rendent productif en certain points, mais il est généralement trop pauvre pour être exploité.

3° Au toit, la glaise ou filon tendre (flucan or soft lode) formée d'une zone de broyage dont l'épaisseur va en diminuant quand la profondeur augmente. Cette épaisseur est de 3^m,50 à 7 mètres près de la surface; elle se réduit à presque rien vers le niveau de 220 mètres. Une fracture tout à fait analogue s'observe à Pontpéan.

A la mine de Van, les dégagements d'hydrogène carboné se produisent constamment et sont considérés par les mineurs comme un indice de l'approche de massifs de minerai. Le gaz se manifeste dans chaque nouveau travers-bancs lorsqu'on approche du filon; il se dégage abondamment, avec bruit, dans les traçages faits dans

les massifs vierges et semble venir de la profondeur. Il a donné lieu à plusieurs explosions, qui ont simplement brûlé la barbe et les cheveux de quelques ouvriers.

Nous avons eu personnellement, en 1890, l'occasion d'observer les émanations gazeuses dans le travers-bancs inférieur de la mine de Van, au mur du filon et à peu de distance de celui-ci. Le gaz sortait en grosses bulles d'une fissure recoupant les schistes et par laquelle ruisselait une certaine quantité d'eau; allumé au moyen d'une lampe, il brûlait avec une flamme bleue bordée de jaune sur les bords.

M. Le Neve Foster affirme avoir senti très nettement l'odeur d'acide sulfhydrique dans la mine de Van; nous n'avons rien constaté de semblable dans l'unique observation que nous avons pu faire.

ÉTUDE DU FILON DE PONTPÉAN.

La mine de Pontpéan, située à une dizaine de kilomètres au sud de Rennes (Ille-et-Vilaine), est depuis de longues années le siège de dégagements presque continus de gaz inflammable. L'étude de ces dégagements forme l'objet principal de cette note : pour lui donner la précision nécessaire et permettre de saisir les relations qui peuvent exister entre les émanations gazeuses et les éléments constitutifs du gîte, il convient de décrire d'abord celui-ci. La description publiée, en 1863, par M. Fayn (*Rev. universelle des mines et de la mét.*, 1^{re} série, t. XIII, p. 279) est, en effet, trop ancienne pour qu'on puisse s'y référer aujourd'hui.

Disposition générale des travaux. — Le gîte de Pontpéan est un filon de galène, avec blende et pyrite, orienté dans son ensemble N. 160° E, c'est-à-dire à peu près nord-sud magnétique, et plongeant vers l'est sous un angle de 80° en moyenne.

L'exploitation s'y est développée sur une longueur totale de 1.300 mètres en direction; elle atteint actuellement la profondeur de 410 mètres.

Commencée, vers 1730, à l'extrémité nord de la zone métallifère, au puits de la Nouvelle Mine, elle s'est étendue progressivement dans la direction du sud.

Les nombreux puits ouverts dans la région nord de la mine, jusqu'au puits du Chapelet inclusivement, remontent à la période initiale des travaux, entre 1730 et 1740. Le puits de la Boulangère a été commencé vers 1780; le puits des Députés en 1789, le puits de l'Orme, à la même époque ou à une date un peu postérieure; le puits de la République en 1794. Le puits du Midi, ouvert en 1862, est le seul qui appartienne entièrement à la période d'exploitation contemporaine, commencée en 1852.

L'exploitation du filon se fait par tailles horizontales, prises dans l'ordre ascendant et remblayées complètement au moyen de matières provenant soit du jour, soit de recherches entreprises aux niveaux supérieurs. Ces tailles sont desservies par des cheminées tracées dans le filon, aboutissant elles-mêmes à des niveaux d'intervalle variable. Dans l'ancienne période d'exploitation, ces niveaux étaient assez rapprochés les uns des autres et irrégulièrement espacés.

Dans la période moderne, on adopta d'abord un intervalle d'environ 40 mètres dans la région du puits du Midi (11°, 15°, 21° et 25° niveaux) et de 30 mètres dans la région du Nord, pour les 17°, 20°, 24° et 27° niveaux, ayant pour origine le puits des Députés.

En 1881, on concentra définitivement au puits de la République les services d'entretien et d'épuisement, et on eut à tenir compte de l'allongement relatif des traverses résultant de la situation de ce puits au mur du filon.

Pour réduire le nombre de ces traverses, on prit le parti d'espacer désormais les niveaux de 45 mètres suivant la verticale; c'est ce qu'on a fait pour les 32°, 37°, 41° et 46°. La traverse de ce dernier vient à peine d'atteindre le filon.

Le numérotage des niveaux a été fait en vue d'indiquer approximativement par son chiffre le nombre de dizaines de mètres de profondeur au-dessous de la surface; mais comme, à l'origine, on avait compté celle-ci comme niveau n° 1, il faut diminuer de 10 mètres environ les profondeurs calculées approximativement d'après la règle ci-dessus. De plus, pour éviter un numérotage fractionnaire, on a dû, au-dessous du 27°, arrondir les chiffres alternativement par excès et par défaut.

A Pontpéan, les niveaux principaux de roulage sont d'ordinaire tracés au mur, dans le schiste compact; le niveau secondaire, tracé dans le filon servant de point de départ aux cheminées, est relié à la voie principale par des coupements de longueur variable, numérotés dans les deux directions nord et sud à partir du puits d'origine. Le plus souvent une cheminée correspond à chaque coupement et part d'un point très voisin de son extrémité. Ces dispositions réduisent à un minimum de durée l'entretien de la galerie au filon; malgré leur complication apparente, elles sont justifiées par les difficultés de cet entretien. Les anciens exploitants les avaient imaginées pour parer aux inconvénients dus à la poussée formidable exercée par le terrain tertiaire, au contact duquel le filon se trouve fréquemment aux niveaux supérieurs; l'expérience en a montré l'efficacité.

C'est ainsi qu'en rentrant, en 1852, dans les travaux du 13° niveau, entre les puits des Députés et de la République, on a trouvé la galerie au mur entièrement ouverte, avec ses cadres intacts, bien qu'en place depuis plus d'un demi-siècle; la galerie au filon était au contraire

complètement écrasée et reconnaissable seulement par les débris de l'ancien boisage empâtés dans une masse argileuse.

Dans les niveaux situés au-dessous du fond du bassin tertiaire, l'entretien de la galerie au filon est un peu moins difficile; cependant la poussée due au tassement des remblais est encore telle qu'il y a avantage à conserver les galeries latérales. Toutes les fois qu'on a voulu, à diverses époques, abandonner ce système, soit par économie, soit pour accélérer l'avancement, on s'en est mal trouvé et on a dû revenir à l'ancienne méthode.

Le traçage au mur présente en outre un avantage un peu secondaire aujourd'hui, mais qui a eu son importance à une époque où les moyens d'épuisement étaient insuffisants. Le remplissage du filon est très perméable; les schistes du mur le sont fort peu; on peut donc y exécuter un développement considérable de galeries sans être gêné sérieusement par les eaux. On ne reçoit celles-ci en abondance qu'après l'exécution des coupements, c'est-à-dire à un moment où l'on a pu monter à loisir une reprise de pompes et se tenir prêt à toute éventualité. C'est ainsi qu'on a entrepris, en 1870 et 1875, la préparation du 24^e et du 27^e niveau, travail qui autrement aurait été impossible avec les moyens d'épuisement dont la mine disposait à cette époque.

La venue d'eau a beaucoup varié à Pontpéan suivant le développement des travaux vers les deux extrémités du filon. Les recherches du 20^e nord et du 27^e sud ont, en effet, provoqué des venues d'eau considérables qu'on a dû arrêter en exécutant des serrements solides sur ces deux niveaux. Dans les diverses périodes où les travaux ont porté seulement sur la région métallifère du filon, l'épuisement s'est maintenu aux environs de 3 mètres cubes par minute, sans augmentation bien sensible avec la profondeur.

Structure générale du gîte. — Le filon de Pontpéan est une réouverture d'un grand filon de diorite qui coupe lui-même les schistes archéens (schistes de Rennes); après le dépôt du remplissage métallifère, à une époque peut-être de beaucoup postérieure, la cassure s'est ouverte de nouveau et ce mouvement a donné lieu à un rejet considérable, correspondant à la fois à un glissement horizontal et à une descente du toit sur le mur. Ce dernier mouvement est mis en évidence par l'existence, du côté du toit (côté de l'est), d'un bassin tertiaire en contact immédiat avec le remplissage du filon ou avec ses roches encaissantes, diorite ou schiste. Il a eu pour conséquence le broyage de certaines parties du remplissage métallifère et la production d'une veine d'argile tenace, d'un bleu noirâtre, contenant de petits fragments du remplissage et désignée par les mineurs sous le nom de *glaise bleue*.

Dans les niveaux supérieurs, la régularité d'allure de la *glaise bleue* et la netteté de ses caractères étaient des plus remarquables; cette veine argileuse, épaisse de 0^m,01 à 0^m,10, représentait presque rigoureusement une surface plane. Au-dessous du bassin tertiaire, la faille est un peu plus ondulée; son remplissage est plus épais, plus fragmentaire, moins plastique. Néanmoins, cette faille constitue dans son ensemble un véritable plan de comparaison auquel on peut rapporter les autres parties du gîte.

Allure des schistes. — Les schistes de Rennes, qui forment la roche encaissante du filon dioritique et souvent aussi du filon métallifère, sont formés dans cette région de bancs assez minces, alternés, de schistes d'un gris verdâtre et de quartzites souvent très durs. Ces bancs sont ondulés; leur inclinaison est variable, mais généralement modérée.

Dans les niveaux supérieurs de la mine, cette inclinai-

son était dirigée vers le nord-ouest ou l'ouest, sous un angle de 25 à 35°; dans les niveaux inférieurs, elle était plutôt moindre. A une centaine de mètres au nord du puits de la Nouvelle Mine, les schistes subissent un redressement brusque qui les rend verticaux avec une orientation nord-ouest; c'est probablement à ce redressement qu'il faut attribuer l'interruption ou la déviation du filon dioritique et du filon métallifère précisément dans la même région.

A 300 mètres plus au nord, cette perturbation locale disparaît; les bancs de schistes et de grès reprennent l'allure ondulée, avec inclinaison modérée vers l'ouest, qu'ils présentent d'ordinaire au voisinage de la zone métallifère du filon.

Les schistes de Rennes sont recouverts au sud par les schistes rouges de Pontréan, bien visibles dans les hauteurs de Lailé. Rien ne permet d'affirmer, quant à présent, que le filon métallifère se prolonge dans ces schistes; on y a seulement observé à la butte de Caran, à 1.100 mètres environ au sud du puits du Midi, un affleurement de diorite, qui paraît représenter la continuation du filon de la même roche connu à Pontpéan. C'est du moins ce que semble prouver une recherche exécutée en 1871, à 760 mètres au sud du puits du Midi, dans l'alignement de l'affleurement de Caran; cette recherche a constaté la présence de la diorite en ce point, mais elle a été arrêtée par l'abondance des eaux avant d'avoir abouti à aucun autre résultat.

Diorite. — La roche éruptive qui a joué un rôle préparatoire si important dans la formation du filon métallifère de Pontpéan, semble devoir être considérée comme une diorite, mais elle se rapproche beaucoup, au point de vue de la structure, des diabases si abondantes dans la région nord de la Bretagne. Étudiée au microscope, elle

se montre composée principalement d'oligoclase et de hornblende, avec un peu de fer titané, de pyrite et de sphène. Les parties altérées contiennent souvent de la chlorite et de la calcite.

Cette roche a subi une décomposition très intense dans les zones voisines de la surface; elle s'est transformée alors en une masse argileuse grise, piquée de points verdâtres, très tendre et presque imperméable. La décomposition était plus avancée dans les parties métallifères, sans doute parce que la sulfatation de la pyrite avait contribué à l'accélérer. On avait cru constater, à une certaine époque, qu'elle était beaucoup plus accentuée au toit de la *glaise bleue* qu'au mur; mais les différences observées à cet égard s'expliquent par l'action de la faille, qui a rejeté en profondeur, du côté du toit, des zones qui se trouvaient antérieurement à une profondeur moindre et qui avaient subi, par suite, l'altération superficielle avec toute son intensité. Plus bas, on trouve aujourd'hui la diorite du toit tout aussi dure et compacte que celle du mur. La diorite ne semble avoir exercé sur les schistes et quartzites encaissants aucune action métamorphique appréciable.

Est-ce à la diorite qu'il faut rattacher une roche « à pâte compacte, d'un gris blanchâtre, renfermant des noyaux pyramidaux de quartz », que Durocher dit (note manuscrite du 11 décembre 1854) avoir vue au 13° ou au 14° niveau, à 250 mètres au sud du puits des Députés et qu'il qualifie de porphyre quartzifère? S'agirait-il d'un bloc de véritable porphyre quartzifère empâté dans le terrain tertiaire, au contact duquel se trouve le filon au point indiqué par Durocher? Il est impossible de le dire aujourd'hui; si l'observation de Durocher est exacte et si elle se rapporte à une roche en place, elle constitue le seul exemple de la rencontre, dans les travaux de Pontpéan d'une roche éruptive autre que la diorite.

La puissance du filon de diorite est en moyenne de 12 à 15 mètres ; elle atteint plus de 30 mètres au puits de la Nouvelle Mine. Il est vrai que cette puissance anormale est due au détachement d'une branche latérale qui se termine à peu de distance dans les schistes (*fig. 2*, Pl. I). Immédiatement au nord de cette zone de puissance maxima, le filon se termine d'une manière qui n'a jamais été bien élucidée. D'après un plan dressé en 1863, il serait coupé brusquement par un biseau, d'un angle de 50° environ au sommet, dirigé vers le nord-nord-ouest. Les croquis originaux de Durocher, de dates sensiblement antérieures, contredisent cette manière de voir ; l'un d'entre eux, figurant les recherches du 10° niveau de la Nouvelle Mine, au mois de mai 1858, indique le filon de diorite comme se prolongeant vers le nord-ouest. Dans un procès-verbal du 22 août 1860, Renouf affirme avoir vu sur le bord de la Seiche, vers Carcé, des échantillons de diorite avec galène ; si ces échantillons étaient bien en place, cette observation constituerait un argument important en faveur de la prolongation, vers le nord-ouest, du filon de diorite dévié par le redressement vertical des bancs schisteux qui sont précisément orientés nord-ouest dans cette région.

Bien plus loin au nord, à la Mare de la Salle, c'est-à-dire à près de 1.300 mètres du puits de la Nouvelle Mine, on connaît depuis longtemps un affleurement de diorite qui été exploré, en 1861, par un petit puits de recherche et trouvé stérile. Trente ans plus tard, la galerie de recherche, poussée au 20° nord jusqu'à 1.200 mètres au nord du puits de la Nouvelle Mine, a rencontré, à 1.065 mètres de ce puits, un filon de diorite au mur de la faille, et l'a suivi assez longtemps ; il est bien probable que ce filon n'est autre que celui qui affleure à la Mare de la Salle. Un peu plus loin, le 51° coupement, dirigé vers l'est, a trouvé, au toit de la faille, une certaine épaisseur de diorite altérée et a rencontré ensuite les argiles tertiaires.

La diorite ne se trouve en place que dans la région située au mur (à l'ouest) de la *glaise bleue* ; séparée de cette cassure par une trentaine de mètres de schiste, à la hauteur de la Nouvelle Mine, elle s'en rapproche progressivement vers le sud et finit par rencontrer le plan de la faille entre le puits Saint-Joseph et le puits du Chapelet. Pour la détermination du sens et de l'amplitude du mouvement de translation produit par la faille, il aurait été du plus grand intérêt de pouvoir tracer exactement l'intersection de la diorite et de la *glaise bleue*. On trouvera cette intersection figurée sur la projection longitudinale du filon (Pl. I, *fig. 1*) pour la zone comprise entre le 17° et le 32° niveau ; la prolongation du tracé dans les zones supérieures du gîte, exploitées au siècle dernier, doit être considérée comme conjecturale. En effet, les recherches minutieuses que nous avons faites dans les anciens documents relatifs à la mine de Pontpéan, en vue de préciser les points où la diorite était au mur de la faille, ne nous ont fourni que des données fort incomplètes ; on peut bien reconnaître que la situation de la diorite au mur était la règle générale dans la zone des vieux travaux, mais sans qu'on puisse d'ordinaire préciser s'il y avait contact avec la faille ou interposition de schiste contre celle-ci. Nous indiquons ci-dessous les résultats les plus caractéristiques fournis par ces recherches :

1° Le puits du Chapelet est entré dans la diorite vers 15 mètres de profondeur, en est sorti entre 50 et 60 mètres, puis est entré de nouveau dans la roche éruptive au-dessus du 17° niveau.

2° Au niveau de 40 mètres du puits des Députés, le filon de diorite, décomposé et imprégné de galène, n'était séparé de la paroi du puits que par deux mètres d'une masse argileuse ; puissant de 11 mètres, il était en contact du côté est avec des argiles blanches d'abord, noires ensuite ; il présentait en ce point un plongement

local vers l'ouest (Durocher, note du 22 novembre 1853). Au 11^e niveau du même puits, c'est-à-dire vers 100 mètres de profondeur, on a observé 5 mètres de diorite au mur du filon (communication de M. Ch. Eloy, ancien directeur de Pontpéan).

3^o Une coupe du 14^e niveau, entre le puits des Députés et le puits de la République, relevée, en 1856, par Durocher, montre la zone métallifère et la glaise bleue intercalées entre deux masses de diorite; celle du mur, imprégnée de galène, venait se terminer en pointe, un peu avant la traverse du puits de la République, contre une veine argileuse noirâtre à l'est de laquelle se trouvait la diorite du toit.

4^o Les nombreuses traverses du puits de la République n'ont jamais rencontré de diorite au mur du filon. Au sud de ce puits, la diorite ne se rencontre au mur que dans une zone peu étendue, située au delà du puits de l'Orme et comprise en hauteur entre le 11^e et le 24^e niveau. Il faut ajouter que la zone principale d'intersection de la diorite avec le mur de la *glaise bleue* présente, dans la région comprise entre le puits des Députés et le puits du Chapelet, une lacune assez étendue, due à une intercalation du schiste. Les détails du phénomène sont mis en évidence par la coupe horizontale du 17^e nord (Pl. I, fig. 6); jusqu'au 4^e coupement, la diorite faisait absolument défaut au mur du filon et de la *glaise bleue*; elle apparut au 5^e coupement et vint en contact avec la *glaise bleue* au 6^e. Du 7^e au 10^e coupement, la galerie de roulage fut tracée dans le schiste au mur de la *glaise bleue*, sans qu'on rencontrât la roche éruptive; celle-ci revint en contact avec la *glaise* entre le 10^e et le 11^e coupement, puis la quitta définitivement entre le 13^e et le 14^e un peu au nord du puits du Chapelet.

Nous avons reproduit cette coupe intéressante, telle qu'elle a été dressée autrefois à la mine de Pontpéan,

mais l'interprétation qu'elle donne des faits observés, en ce qui concerne le mode de terminaison de la bande dioritique du mur vers le sud est de nature à soulever quelques doutes. Il est probable qu'en réalité cette bande est coupée franchement par les quartz du mur au lieu de se terminer en pointe au milieu du schiste. La lacune dans la bande dioritique du mur, due à l'intercalation d'une zone schisteuse, se prolonge peut-être en hauteur jusqu'à la surface, mais les documents anciens ne fournissent aucune donnée à cet égard. En profondeur, on l'a reconnue au 20^e niveau; mais on ne l'a pas retrouvée au 24^e.

D'après les résultats donnés par les traçages récents, elle semble reparaitre au-dessous du 32^e et s'ouvrir largement au 37^e. Des observations plus précises seraient nécessaires pour permettre de se faire une idée exacte de l'allure de la diorite en profondeur.

Diorite du toit. — La bande de diorite, située au toit de la *glaise bleue*, se développe, au contraire, à peu près uniformément vers le sud, à partir de la région du puits Saint-Joseph jusque vers l'extrémité méridionale des travaux.

L'intersection de la diorite du toit avec la *glaise bleue* est au moins aussi difficile à tracer que celle de la diorite du mur. Elle n'a guère été déterminée exactement qu'à ses extrémités nord et sud. La coupe horizontale du 17^e niveau (Pl. I, fig. 6) montre un des points de cette intersection; d'autres points ont été déterminés assez exactement au-dessus du 17^e, en revenant vers le sud et au-dessous de ce niveau jusqu'au 27^e. Mais, à partir du puits du Chapelet jusqu'au delà du puits de l'Orme, c'est-à-dire dans la région exploitée au XVII^e siècle, on en est à peu près réduit à des conjectures; le seul élément que nous ayons pu utiliser pour un tracé approximatif est une série de coupes relevées autrefois par M. Boudehen,

directeur de la mine, sur une étendue de 200 mètres environ au nord du puits des Députés, encore ces coupes sont-elles assez peu précises.

A 150 mètres environ au sud du puits de l'Orme, M. Ch. Eloy avait relevé, depuis le 15° jusqu'au-dessus du 11° niveau, une coupe détaillée (Pl. I, fig. 5) qui indique bien les relations entre la glaise bleue, la diorite et le terrain tertiaire. Il avait en outre déterminé d'une manière précise aux 11° et 15° niveaux, au sud du puits du Midi, la position de la crête supérieure de la diorite du toit et reconnu qu'elle s'abaissait assez rapidement vers le sud, au delà des limites de la zone métallifère.

De ces diverses données, il résulte que, depuis un point situé à 200 mètres environ au sud du puits du Midi jusqu'au delà du 16° coupement du 17° nord, c'est-à-dire jusqu'au voisinage du puits Saint-Joseph, la crête de la diorite du toit se trouve au-dessus du fond du bassin tertiaire. On a vu que le dernier coupement, exécuté dans la recherche du 20° nord, à plus de 1.100 mètres au nord de la Nouvelle Mine, a constaté la même interposition de la diorite du toit entre la faille et le terrain tertiaire. C'est un phénomène remarquable qu'on aurait pu mettre en doute s'il n'avait été constaté en divers points de la mine ; nous essayerons plus loin d'en donner l'explication.

Il ne faudrait pas supposer que la diorite du toit soit en contact immédiat avec la *glaise bleue* dans toute l'étendue de la surface limitée par le tracé plus ou moins hypothétique que nous avons figuré. Dans cette étendue, il existe certainement des lacunes dues aux ondulations des épontes du filon dioritique et aux intercalations schisteuses qui en sont la conséquence. Une de ces lacunes a été reconnue, aux 11° et 15° niveaux, au sud du puits du Midi ; à la 5° traverse du 11° niveau, à 110 mètres du puits, le mur de la diorite était séparé de la *glaise* par 30 mètres de schistes plissés, mais non broyés.

Terrain tertiaire. — L'existence d'assises tertiaires au toit d'un filon métallifère, souvent même au contact immédiat de ce filon est un phénomène si exceptionnel qu'on a mis bien longtemps à s'en rendre compte. En poussant des recherches vers l'est, dans la région nord de la mine, les anciens exploitants avaient rencontré plus d'une fois ce qu'ils appelaient le filon de sable ; ils y avaient trouvé non seulement des sables, ordinairement très aquifères, mais aussi des argiles grises ou noires et des débris végétaux. Ils semblent avoir supposé que c'étaient des alluvions superficielles tombées dans une fente du terrain ; cette hypothèse prévalut pendant les premières années qui suivirent la reprise de l'exploitation en 1852.

Cependant on était déjà fixé à cette époque sur la nature des assises calcaires exploitées non loin de Pontpéan, à la Chausserie et à Lormandière, c'est-à-dire à l'est de la direction du filon ; Deshayes avait reconnu, dès 1832, l'âge tertiaire de ces dépôts. Mais on ne songeait à établir aucune corrélation entre ces calcaires tertiaires et les assises argilo-sableuses reconnues au toit du filon.

Durocher semble avoir eu le premier l'idée d'un pareil rapprochement ; après avoir observé dans une traverse poussée à l'est du puits du Chapelet, au 13° niveau, des sables avec gros graviers de quartz gris enfumé, bien arrondis, il écrivait, en mai 1858 : « Ces graviers paraissent provenir, en partie du moins, du dépôt tertiaire qui forme une couche à la surface du terrain où est la mine de Pontpéan. » Mais l'âge tertiaire des assises argilo-sableuses ne fut établie d'une manière certaine que par les recherches dirigées en 1862 et 1863 par M. Ch. Eloy, sous l'inspiration de M. l'inspecteur général des mines Gruner et de M. Massieu, alors ingénieur ordinaire à Rennes.

La classification précise de ces assises est encore difficile à fixer ; on n'y a en effet découvert jusqu'ici aucun

fossile. On sait seulement qu'elles sont inférieures aux couches tongriennes de la Chausserie, recouvertes elles-mêmes par des faluns miocènes et par le quaternaire; on peut donc présumer qu'elles représentent la base du tongrien, mais sans pouvoir préciser davantage. Leur composition minéralogique est variable d'un point à un autre. A la hauteur des anciens travaux, vers le puits de la Nouvelle Mine, le sable semble avoir constitué l'élément prédominant; une traverse poussée au 6^e niveau jusqu'à 40 mètres à l'est du puits du Chapelet n'avait, au contraire, rencontré qu'une argile brune fort tenace. En face du puits Saint-Joseph, au 17^e niveau, une galerie poussée à 125 mètres vers l'est a traversé des argiles grises peu aquifères et pénétré ensuite de quelques mètres dans les schistes archéens sur lesquels repose le terrain tertiaire. Ces schistes étaient tellement décomposés qu'on avait beaucoup de peine à les distinguer des argiles supérieures; la surface de contact plongeait vers l'ouest, c'est-à-dire vers le filon.

Dans la coupe prise à 150 mètres au sud du puits de l'Orme (Pl. I, *fig.* 5), la traverse poussée vers l'est, à 85 mètres de profondeur, a pénétré d'une dizaine de mètres dans des sables souvent agglutinés, renfermant de gros blocs de quartz très dur. Une recoupe parallèle, faite vers le niveau de 100 mètres, a rencontré des argiles, mais sans y pénétrer; une autre, ouverte à 120 mètres, c'est-à-dire peu au-dessus du fond du bassin tertiaire, a traversé sur une cinquantaine de mètres des argiles plastiques, parfois sableuses, avec grains de pyrite.

En somme, il semble que les argiles prédominent plutôt vers la base et les sables vers les niveaux supérieures, mais cette règle n'a rien d'absolu. En quelques points, on a constaté des alternances de sable et d'argile par lits de faible épaisseur.

Il est impossible d'étudier en affleurement cette forma-

tion, peu consistante par elle-même et mélangée à la surface avec le diluvium argilo-caillouteux, très développé dans le bassin de Rennes.

Pour déterminer sa puissance, on ne peut donc se servir que des données fournies par les travaux de mine. Or, ceux-ci ont montré qu'au contact du filon, l'épaisseur du terrain tertiaire va en augmentant du sud au nord d'une manière très régulière. Le fond du bassin est à 80 mètres environ de profondeur vers l'extrémité du 11^e sud, c'est-à-dire à 200 mètres au sud du puits du Midi; il est à 180 mètres à une distance de 160 mètres environ au nord du puits de la Nouvelle Mine, car le 32^e coupement du 20^e niveau a rencontré du tertiaire au toit.

D'après l'ensemble des observations géologiques faites à la surface, observations résumées par MM. Delage (*Bull. Soc. Géol. de France*, 1879, p. 476), Lebesconte (*ibid.*, p. 451) et Vasseur (*Terrains tertiaires de la France occidentale*, 1881, p. 294), le système tertiaire doit acquérir son maximum de puissance à une distance d'environ 1.500 mètres plus loin vers le nord: ce maximum pourrait donc être évalué à 280 mètres, si on admettait que la pente attribuée au fond du bassin par l'ensemble des observations faites dans la mine se continuât régulièrement, au lieu d'augmenter de valeur comme sembleraient l'indiquer les observations faites vers l'extrémité nord des travaux. D'après les divers géologues cités plus haut, on peut attribuer à l'ensemble des alluvions quaternaires, des faluns miocènes et des calcaires tongriens une épaisseur totale de 50 mètres environ; il en résulterait que la puissance totale des assises argilo-sableuses inférieures atteindrait 230 mètres. Ces assises constitueraient donc, au point de vue stratigraphique, l'élément principal du bassin tertiaire de Rennes, à l'opposé de ce qu'indiquent les coupes de ce bassin publiées jusqu'ici.

Ces assises, dépourvues de débris organiques déter-

minables, renferment cependant au voisinage du filon des veinules ou des fragments d'un combustible minéral dont la composition exacte n'a jamais été fixée. Le plus souvent, ce combustible est tellement broyé et mélangé avec l'argile encaissante, qu'il prend une apparence friable et terreuse : c'était le cas d'échantillons que nous avons pu recueillir en 1871, au 17° nord, vers la hauteur du puits Saint-Joseph. Durocher avait observé, en 1853, un lignite terreux fort analogue, au niveau de 40 mètres du puits des Députés ; en 1855, au 13° niveau, entre le puits des Députés et le puits de la République, il en avait vu des veines irrégulières, atteignant jusqu'à 0^m,10 de puissance ; mais cette fois compactes et à cassure conchoïde.

Des constatations analogues ont été faites en d'autres points de la mine, mais toujours au contact de la *glaise bleue*, à une distance de 0^m,50 au plus de celle-ci. Les travaux qui ont été poussés à une assez grande distance de la faille, dans les assises en place du terrain tertiaire, n'y ont jamais rencontré de lignite.

Ces assises présentent une stratification régulière ; elles ont une inclinaison très faible vers le nord ou le nord-ouest, comme le fond du bassin. Au voisinage de la faille, elles s'infléchissent d'une manière brusque et plongent vers l'ouest-sud-ouest, c'est-à-dire en sens inverse de la flexion qu'elles auraient dû subir d'après le sens du déplacement apparent produit par la faille.

Il semblerait qu'il y ait eu entraînement vers la profondeur, comme si des eaux était descendues le long de la surface de contact en provoquant une soustraction de matière et par suite l'affaissement des assises situées au voisinage immédiat de la fissure.

Mode d'action et structure de la faille. — Quand on étudie de près les effets produits par le mouvement du

sol qui a amené la formation de la *glaise bleue*, on est conduit à attribuer à ce mouvement une complexité plus grande que ne l'indiqueraient les apparences immédiates.

Ce mouvement n'a pas été une simple translation du toit sur le mur suivant la ligne de plus grande pente ; l'inclinaison du fond du bassin tertiaire, du sud vers le nord et le développement des assises supérieures du bassin (calcaire tongrien et faluns), constaté exclusivement dans cette dernière direction, indiqueraient bien plutôt une flexion d'ensemble subie par la région située à l'est de la faille.

D'un autre côté, l'étude des stries observées sur les surfaces de glissement, fréquentes dans le filon de Pontpéan, devrait permettre de se rendre compte du mouvement relatif subi par les divers points du filon. Or ces stries s'écartent peu de la direction horizontale : elles plongent légèrement vers le sud, sous un angle d'une quinzaine de degrés au plus.

La méthode la plus précise pour déterminer le sens et l'amplitude du glissement consisterait à rapprocher les intersections de la *glaise bleue*, au mur et au toit, soit avec le filon métallifère, soit avec la diorite. La deuxième intersection donnerait des résultats assez précis si son tracé avait été déterminé exactement ; mais on sait que ce tracé est hypothétique dans toute la zone des anciens travaux, et la partie comprise dans l'étendue des travaux modernes ne suffit pas pour identifier les points correspondants du toit et du mur de la faille.

La délimitation des massifs métallifères, exploités depuis l'origine, est beaucoup plus précise, mais elle ne suffit pas pour obtenir un résultat satisfaisant. D'abord, rien ne prouve que les colonnes riches du toit et du mur représentent des fractions sensiblement équivalentes de massifs primitifs, coupés vers le milieu par la faille. Il est facile de constater que la cassure, tout en ayant une

tendance marquée à suivre les grandes masses de galène, véritables surfaces de moindre résistance, a dû bien souvent les décoller tantôt de leur toit, tantôt de leur mur, ne laissant sur l'éponte opposée que des lambeaux inexploitable.

Les rapprochements entre la configuration des massifs du toit et du mur sont donc bien arbitraires. Le seul qu'on puisse faire, dans l'état actuel du développement des travaux porterait, d'une part, sur l'ensemble des massifs du toit, d'autre part, sur la colonne du mur, située aux environs du puits des Députés, avec les massifs annexes compris entre le 10° et le 15° niveau, dans l'intervalle du puits des Députés au puits de la République.

On constate quelques analogies de forme entre les deux groupes de contours ; leur identification conduirait à admettre un déplacement de 250 mètres dans le sens horizontal et de 70 mètres dans le sens vertical, ce qui donnerait bien pour l'inclinaison du mouvement sur l'horizon, un chiffre de 15° environ, correspondant à la pente des stries de glissement. Mais l'amplitude du déplacement vertical serait tout à fait insuffisante pour expliquer la valeur de la dépression du fond du bassin tertiaire, à moins de faire intervenir l'action de failles secondaires, parallèles à la cassure principale.

Il est vrai que cette dernière hypothèse permettrait d'expliquer un des faits les plus singuliers que l'on ait constatés à Pontpéan : l'interposition de la diorite sur une hauteur verticale importante entre la *glaise bleue* et le terrain tertiaire. La coupe relevée au sud du puits de l'Orme (Pl. I, fig. 5) ne peut laisser aucun doute sur la réalité du phénomène ; elle concorde d'ailleurs avec d'autres observations analogues faites dans la région du puits Saint-Joseph et vers l'extrémité de la recherche nord du 20° niveau. On a essayé de l'expliquer en admettant que les assises tertiaires se seraient déposées dans

le bassin où elles se trouvent enclavées aujourd'hui, bassin limité vers l'ouest par le filon et par la diorite du toit qui auraient constitué à l'époque miocène une falaise soit aérienne, soit sous-marine. Dans ce système, l'érosion aurait évidemment entamé en divers points la section du filon, si régulière cependant au contact du terrain tertiaire ; elle n'aurait pas respecté les masses de galène tendre qu'on a exploitées autrefois au contact même de ce terrain. Enfin elle n'explique pas la flexion imprimée par la faille aux assises tertiaires près du contact. En somme, la postériorité du mouvement qui a produit la *glaise bleue* par rapport au dépôt du tertiaire argilo-sableux ne paraît pas douteuse ; ce qui subsiste aujourd'hui de ce terrain ne doit être qu'un lambeau d'une formation plus étendue, recouvrant autrefois la région située au mur du filon comme celle située au toit.

Pour expliquer le placage d'une masse de diorite décomposée contre le toit de la *glaise bleue*, au-dessus du bassin tertiaire, il est préférable d'admettre que la *glaise bleue* n'est pas une faille unique, mais qu'elle constitue seulement l'élément principal d'un faisceau de cassures dont un autre élément, parallèle et situé plus à l'est, aurait décollé le filon de diorite de son toit, lui permettant ainsi de jouer par rapport à celui-ci.

L'existence d'un faisceau complexe de fractures, postérieur au remplissage métallifère, est un fait établi directement. Dans une grande partie de l'étendue horizontale des travaux, on connaît, à quelques mètres du mur de la *glaise bleue*, une veine argileuse plus mince, dite la *fine*, qui a été fréquemment suivie par les traçages.

Dans la région située au sud du puits du Midi, les fractures parallèles à la *glaise bleue* ont été observées en plus grand nombre. On a constaté trois semblables fractures dans les traverses du 11° et du 15° sud ; dans la cinquième du 11° sud, une de ces veines argileuses se

trouvait précisément au toit de la diorite, puissante d'une dizaine de mètres et séparée en ce point de la *glaise bleue* par une trentaine de mètres de schistes plissés. Il est probable que cette cassure se prolonge à une grande distance au nord, donnant lieu à une descente en gradins de la diorite du toit et, par suite, à une saillie de cette diorite par rapport au fond du bassin tertiaire.

Il est possible que le mouvement d'affaissement de ce fond ait donné lieu à la formation d'autres fractures parallèles à la cassure principale, mais plus éloignées vers l'est. La coupe donnée par M. Lebesconte (*Bull. Soc. Géol.*, 1879, p. 454), tend à faire supposer qu'un ressaut de ce genre se serait produit un peu à l'est de la Chaussérie, c'est-à-dire à un kilomètre environ du filon de Pontpéan.

En réalité, des observations nouvelles seraient nécessaires pour permettre de se rendre compte de la structure exacte du faisceau de fractures postérieur au remplissage métallifère et des mouvements auxquels ce faisceau a pu donner lieu.

Malheureusement, on n'a guère l'occasion, à la mine de Pontpéan, de pousser des travaux de recherche dans le toit du gîte, puisque les travaux préparatoires sont au mur; il est donc à craindre que le problème ne soit pas de longtemps élucidé.

Constitution du remplissage métallifère. — Le remplissage métallifère du filon de Pontpéan ne se compose guère que de galène, de blende, de pyrite et de quartz.

La galène est tantôt à grandes facettes et pauvre en argent, tantôt à grains fins et alors très argentifère. La proportion de métal précieux par tonne de plomb descend jusqu'à 150 ou 200 grammes pour la première variété et s'élève jusqu'à 6.000 grammes pour la seconde. La galène à grandes facettes se présente ordinairement

en veines puissantes, à peu près dépourvues de gangue et encaissées directement dans le schiste ou la diorite; la galène à grains fins est surtout disséminée dans un quartz calcédonieux d'un noir bleuâtre; elle semble être généralement plus récente que la première variété.

La blende est le plus souvent noire et lamelleuse; elle est alors pauvre en argent. On a trouvé d'assez grandes quantités de blende fibreuse dans la région de la Nouvelle Mine et au voisinage du puits du Midi; dans la première zone, cette blende tenait de 1.200 à 1.500 grammes d'argent par tonne; dans la seconde, elle était peu argentifère. Cette variété ne se rencontre plus dans les travaux profonds de la mine de Pontpéan.

La pyrite, en veinules ou en enduits superficiels, est assez abondante; elle appartient le plus souvent à la variété cubique, mais on trouve quelquefois des cristaux prismatiques.

La seule gangue, qui joue un rôle important dans le remplissage, en dehors des débris de roches encaissantes, est le quartz, très rarement cristallin, généralement calcédonieux et noirâtre. Ce quartz forme souvent, au mur ou au toit de la zone exploitable, une veine puissante de 2 à 3 mètres et contenant seulement quelques mouches de galène; ces zones quartzieuses, presque stériles, se rencontrent parfois entre la diorite et le remplissage métallifère, mais elles se sont développées surtout au contact du schiste. Quand le minerai est encaissé directement dans la diorite, il est généralement à grandes facettes, peu argentifère et à peu près exempt de quartz.

La calcite cristallisée se rencontre en quelques points, mais toujours en proportion très faible.

Les minéraux oxydés du plomb ne semblent pas avoir été observés à Pontpéan.

Distribution du remplissage métallifère. — Dans la région exploitée, à l'origine, au voisinage de la surface et autour du puits de la Nouvelle Mine, le minerai se trouvait encaissé dans le filon de diorite, très puissant dans cette région. Comme le montre la coupe (Pl. I, fig. 2), il y formait des veines multiples, désignées, lors de la reprise des travaux en 1852, sous les noms de filon principal, filon parallèle (à l'ouest du précédent), et filon déserteur, ce dernier n'étant autre chose qu'une branche diagonale reliant les deux veines précédentes.

La galène à grandes facettes y formait de puissants renflements; elle était accompagnée de belles veines de blende fibreuse, très argentifère. Cette richesse considérable a diminué rapidement en profondeur; vers le 10^e niveau, les veines divergentes se sont réunies en diminuant beaucoup de puissance.

A peu de distance au nord du puits de la Nouvelle Mine, on a perdu la trace des veines métallifères et du filon de diorite; des recherches fort étendues, exécutées autrefois au 9^e niveau, sont restées infructueuses. Nous avons vu que le filon de diorite, arrêté au nord par un redressement vertical des schistes (filon croiseur des anciens), se dévie probablement vers le nord-ouest; il en est peut-être de même des veines métallifères, si l'observation faite en 1860 par Renoufet citée plus haut, présentait des garanties d'exactitude absolue. Mais on peut se demander si cette observation, restée isolée, a porté sur des échantillons réellement en place.

Dans les zones profondes, l'exploitation a atteint et même dépassé le puits de la Nouvelle Mine, mais elle a eu pour objet dans cette région un massif métallifère disposé d'une manière toute différente. Le minerai se développe entre la *glaise bleue* et une puissante veine quartzreuse en contact direct avec le schiste du mur. La diorite du mur se termine exactement là où commence

le quartz, comme le montre la fig. 6 de la Pl. I. Elle est d'ailleurs stérile en profondeur.

La colonne du nord avait été découverte par les anciens au fond du puits Saint-Joseph; elle y était assez argentifère, mais pauvre en plomb et très quartzreuse; sa dureté avait beaucoup restreint le développement des travaux à cette époque.

Peut-être la veine connue autrefois, dans les niveaux supérieurs du puits de la Nouvelle Mine, sous le nom de filon de neuf heures, venait-elle se rattacher en profondeur à la colonne du nord. C'était une veine quartzreuse, très pauvre, qui se détachait de la branche principale du filon à la hauteur du puits Saint-Louis, situé à une vingtaine de mètres au sud-est de la Nouvelle Mine, et se dirigeait vers le sud-est, à travers les schistes.

Une traverse, poussée en 1891 vers l'ouest, au 27^e niveau et à 70 mètres au nord du puits de la Nouvelle Mine, a rencontré des veines blendeuses que l'on ne peut assimiler ni à l'ancien filon déserteur ni au filon de neuf heures; leur direction et leur position contredisent ces deux hypothèses. Elles semblent d'ailleurs n'avoir aucune importance.

En profondeur, à partir du 17^e niveau, la colonne du nord a pris un magnifique développement; elle a présenté d'abord une épaisseur réduite assez faible, mais la galène qu'elle produisait était très riche en argent. Au-dessous du 27^e niveau, on y a rencontré de belles veines de galène massive qui ont élevé la puissance réduite jusqu'à 0^m,25 en certains endroits, aux dépens, il est vrai, de la teneur relative en métal précieux.

La colonne se termine au nord par une intersection bien nette de son mur quartzreux avec la *glaise bleue*; les recherches faites pour la retrouver plus loin dans la même direction ont été infructueuses. Celle du 20^e niveau a été cependant poussée jusqu'à 1.200 mètres au nord du

puits de la Nouvelle Mine, dans les schistes du mur près du contact du terrain tertiaire. Elle a rencontré dans ces schistes quelques veinules de calcite cristalline avec galène et pyrite, mais ces indices insignifiants n'ont conduit à aucune découverte utile. Jusqu'à une distance de 1.065 mètres au nord du puits de la Nouvelle Mine, les coupements poussés au toit ont rencontré le terrain tertiaire au contact immédiat des schistes, sans interposition de diorite, de quartz métallifère ou de minerai broyé. La zone dioritique découverte plus loin encore, vers la Mare de la Salle, s'est montrée absolument stérile.

Certains des coupements de cette recherche ont donné lieu à des éruptions dangereuses de sables bouillants, et provoqué une venue d'eau tellement abondante qu'on a dû établir, en 1891, un serrement entre le 31° et le 32° coupement. La pression de 180 mètres d'eau, qui s'était développée en arrière de ce serrement, a refoulé les argiles tertiaires par le 31° coupement et provoqué, au milieu de l'année 1892, une véritable irruption boueuse dans le 20° niveau. On a réussi, après de grands efforts, à arrêter cette irruption, inquiétante pour l'avenir de la mine, en construisant un serrement en maçonnerie vers le 27° coupement et un autre, en bois debout, dans la 30° cheminée du 24° niveau.

Le 20° niveau, étant situé au-dessus du fond du bassin tertiaire, n'était pas très convenablement choisi au point de vue d'une recherche en direction; il donnait des probabilités de succès moitié moindres qu'un niveau passant au-dessous du bassin, comme le 32° ou 37° par exemple. Il pourrait donc y avoir intérêt à reprendre plus tard la recherche à l'un de ces deux niveaux, si l'on admet que la direction de la *glaise bleue* soit bien celle qu'il convienne d'adopter. Il est incontestable que les grandes fractures, comme la *glaise bleue*, ont une tendance naturelle à suivre les surfaces de moindre résis-

tance, telles que les fissures métallifères; mais, d'un autre côté, les indices de déviation du gîte vers le nord-ouest sont assez sérieux pour qu'on puisse se demander s'il ne conviendrait pas de chercher plutôt dans cette direction.

Les massifs, exploités autrefois entre la surface et le 13° nord, aux puits Saint-Joseph, du Chapelet et des Députés, étaient formés de veines de galène disséminées dans la diorite, d'après les constatations faites lors de la reprise des travaux à partir de 1852. Il en était de même du massif exploité entre le 10° et le 15° niveau, au sud du puits des Députés, avec cette différence que, d'après les notes de Durocher, il existait dans ce massif non seulement des imprégnations de minerai dans la diorite du mur, mais aussi de magnifiques veines de galène massive, intercalées entre la diorite et la *glaise bleue*. Ces veines représentaient une puissance réduite de 0^m,40 à 0^m,80.

Le massif du puits de l'Orme, situé au sud du puits de la République, se rattachait au contraire intimement à la diorite du toit. Il présentait, comme le précédent, de magnifiques veines de galène à grandes facettes, atteignant, dans certains endroits, une puissance réduite de 0^m,50 à 0^m,60; ces veines étaient généralement situées au contact de la *glaise bleue*, mais à son toit cette fois. À l'est du minerai massif se trouvaient des veines disséminées dans la diorite; vers les limites de la zone exploitable, ces veines étaient coupées franchement par la *glaise bleue*, comme la diorite elle-même.

Le massif du puits de l'Orme, si riche au voisinage de ce puits, s'est appauvri progressivement vers le sud; au-dessous du 21° niveau, il ne se composait plus guère que de blende peu argentifère; aussi a-t-on renoncé à le poursuivre plus bas, dans la direction du puits du Midi.

Au sud de ce dernier puits, on ne connaît jusqu'ici, dans le plan même du filon, aucun massif exploitable.

Le 11° et le 15° niveau, poussés, de 1865 à 1868, jusqu'à 230 et 250 mètres dans la direction du midi, avaient bien fait reconnaître une veine quartzeuse, avec un peu de galène et de blende, intercalée entre les schistes et la diorite du toit; les coupements du 25° sud avaient confirmé cette indication, mais l'abondance de la venue d'eau avait empêché de poursuivre les recherches. On avait dû poser, en 1872, un serrement dans la traverse du 25° et un autre dans l'unique cheminée reliant ce niveau au 21°; la pression s'était élevée peu à peu à 9^{kg},75 en arrière du serrement et la venue d'eau avait cessé.

Le développement du 27° niveau vers le sud amena à reprendre, en 1890, les travaux dans cette direction. On découvrit à ce niveau, du côté du mur, à 430 mètres environ au sud du puits du Midi, une veine qui s'infléchissait en quart de circonférence, sur 60 mètres de développement et prenait ensuite la direction est-ouest, qui est celle des schistes dans cette région. Cette découverte avait fait naître au premier moment des espérances considérables qui ne se sont pas réalisées; la veine, souvent assez puissante, se composait presque exclusivement de blende; elle était très aquifère et la venue d'eau qu'elle donnait menaçait de compromettre l'avenir de la mine. On a dû y arrêter les recherches à 180 mètres du filon principal, suspendre l'exploration de celui-ci au 27° niveau, poussé jusqu'à 615 mètres au sud du puits du Midi, et enfin barrer ce niveau en août 1893.

Actuellement, les travaux de Pontpéan se développent exclusivement en profondeur; dans la région du puits de la République, ils portent sur un magnifique massif métallifère, dont l'étendue horizontale a atteint 750 mètres au 27° niveau. Ce massif se compose en réalité de deux parties distinctes, l'une au mur, située principalement

du côté nord, l'autre au toit, se développant surtout au sud. Les deux zones se superposent au milieu de l'intervalle du puits des Députés au puits de la République, entre le 24° et le 37° niveau, ainsi qu'au voisinage du deuxième de ces puits, à partir du 37°.

De même que dans la colonne du nord, la zone métallifère du mur renferme beaucoup de quartz avec galène riche en argent; la zone du toit, au contact de la diorite, présente au contraire de fortes épaisseurs de galène peu argentifère, comme le massif du puits de l'Orme, avec laquelle elle présente de grandes analogies.

On a vu reparaître, dans les tailles des 32°, 37° et 42° niveaux, ces belles veines massives de galène à grandes facettes, que les anciens exploitants de Pontpéan avaient connues dans les niveaux supérieurs. Il faut espérer que la persistance de cette richesse exceptionnelle au 46° niveau permettra à la mine de Pontpéan de traverser sans trop de difficulté la crise provoquée actuellement par la baisse extraordinaire des cours du plomb et de l'argent.

En résumé, quand on cherche à se rendre compte de la répartition primitive du remplissage métallifère, avant les perturbations que le glissement dû à la grande faille longitudinale a apportées dans sa distribution, on est amené à conclure que le filon de diorite a exercé une influence considérable sur le dépôt du minerai. Ce dépôt s'est effectué à la suite d'un mouvement de faible amplitude qui a fissuré la masse même de la diorite dans certaines régions et décollé dans d'autres le filon dioritique de son mur schisteux. C'est dans les vides ainsi produits que s'est déposé le remplissage métallifère, dans les conditions indiquées plus haut, c'est-à-dire la galène massive, pauvre en argent, se rencontrant plutôt dans les fissures du filon dioritique et le quartz avec galène argentifère disséminée venant former une veine puissante au mur de la roche éruptive.

Dans la région nord de la mine, la veine quartzreuse s'est prolongée directement au milieu des schistes, laissant la diorite se dévier à l'ouest.

La grande fracture, connue sous le nom de *glaise bleue*, a suivi de préférence les massifs métallifères, moins résistants que le quartz stérile ou que les roches encaissantes; c'est cette considération qui justifie dans une certaine mesure l'habitude prise à Pontpéan de la prendre pour guide des recherches entreprises en direction sur le filon.

DÉGAGEMENTS GAZEUX OBSERVÉS A PONTPÉAN.

Il semble qu'aucune inflammation de gaz ne se soit produite à Pontpéan au cours du XVIII^e siècle; à la fin de cette période, les travaux avaient cependant atteint une profondeur de 140 mètres et un développement de près d'un kilomètre en direction.

A peine l'exploitation était-elle reprise en 1852, qu'il se produisit une inflammation sans conséquences graves. Un chef mineur anglais fut légèrement brûlé en voulant pénétrer, avec une lampe à feu nu, dans une cheminée partant d'un niveau voisin de la surface et dénoyé tout récemment.

Deux ans après, un accident analogue se produisit, non plus dans la région nord de la mine, comme le précédent, mais à une centaine de mètres au sud du puits des Députés (point A de la *fig. 1*). Dans cette région, les anciens avaient exploité la colonne métallifère en contre-bas du 13^e niveau (120 mètres de profondeur), au moyen d'une galerie secondaire, située à une dizaine de mètres au-dessous de la voie principale et reliée à celle-ci par de petits bures. On venait d'y pénétrer par le premier de ces bures (le premier dans la direction sud, à partir du

puits des Députés) et on commençait le curage de la galerie lorsque se produisit, à une dizaine de mètres au sud du pied du bure, une inflammation de gaz qui ne causa aucun accident.

Vers 1860, un accident analogue eut lieu à quelques mètres au sud du puits Saint-Joseph, à la quatrième tranche des tailles montantes au-dessus du 15^e niveau (point B de la *fig. 1*), au moment où on venait de percer dans un bure des anciens.

La cause véritable de ces trois accidents est un peu incertaine; elle peut être attribuée, avec quelque vraisemblance, à la décomposition des anciens boisages, puisque les accidents se sont tous produits au moment de la rentrée dans de vieux travaux. Cependant, il faut remarquer que les eaux qui remplissaient les anciens vides étaient chargées de sulfate de fer et de zinc en telle proportion que les bois ont été retrouvés presque intacts. D'autre part, la continuation des dégagements gazeux à une époque postérieure est de nature à faire supposer que les premiers accidents signalés pourraient bien avoir la même origine que ceux arrivés par la suite.

Pendant une période de huit à neuf ans, on n'eut à constater aucune manifestation de gaz inflammable dans la mine de Pontpéan.

A cette époque, les travaux de recherche et d'exploitation se développaient vers le sud, dans la région du puits de la République, où les quartz calcédonieux noirâtres font défaut. Dès que l'on commença à explorer les massifs métallifères, intercalés entre ces quartz et la *glaise bleue*, les dégagements gazeux se produisirent dans des conditions qui ne pouvaient plus laisser de doute sur leur origine.

En 1869, on ouvrit le 20^e niveau en partant du puits des Députés; au nord de ce puits, la galerie latérale est tracée dans les schistes du mur, mais au contact

immédiat de la veine quartzreuse qui sépare dans cette région les schistes de la zone métallifère. Sur une quarantaine de mètres, le gaz se dégagait du quartz en très grande abondance; il finit par disparaître peu à peu (point C de la *fig. 1*).

Il se manifesta de nouveau vers la fin de 1871, lorsqu'on ouvrit le 24^e niveau en partant du puits des Députés; cette fois, il causa le premier accident sérieux qui ait été signalé à Pontpéan: La première cheminée, entre le 24^e et le 20^e niveau, avait été commencée en remontant à partir du 24^e, à 25 mètres environ au sud du puits des Députés; elle avait près de 30 mètres de hauteur et était sur le point de percer au niveau supérieur (point D de la *fig. 1*). L'ouvrier Cadiou, qui y travaillait, montait, le 5 mars 1872, pour se rendre à son poste, lorsqu'il s'aperçut que la flamme de sa lampe s'allongeait. Il essaya de renouveler l'air, en agitant sa veste, comme les mineurs de Pontpéan avaient l'habitude de le faire en pareille circonstance; puis il recommença à monter. Au moment où il n'était plus qu'à quelques mètres du sommet de la cheminée, il se produisit une explosion qui le brûla assez sérieusement à la figure et aux mains; ses brûlures ne l'empêchèrent pas de redescendre sans aide jusqu'au 24^e niveau et ne lui causèrent qu'une incapacité de travail assez limitée comme durée.

Le gaz continua à se dégager, pendant plusieurs années, avec une assez grande abondance au sol du 24^e niveau, dans deux régions situées l'une au voisinage du puits des Députés (points FF de la *fig. 1*), l'autre à la hauteur des puits Saint-Joseph et de la Nouvelle Mine (points HH de la *fig. 1*); il paraissait sortir principalement du mur du filon.

Le dégagement était fort actif au début du traçage; à cette époque, on pouvait souvent enflammer, au ciel de la galerie au filon, le gaz, qui y brûlait avec une flamme

bleue mêlée de jaune. Il s'atténua avec le temps pour cesser complètement quand le niveau inférieur vint drainer la veine métallifère par-dessous.

En 1877, le gaz se montrait surtout vers l'avancement nord du 24^e niveau, c'est-à-dire entre le puits Saint-Joseph et le puits de la Nouvelle Mine; il n'était cependant pas localisé exclusivement dans cette région, car deux explosions se produisirent, au cours de cette année, dans les tailles voisines du puits des Députés.

La première eut lieu, le 24 avril 1877, à la suite d'une submersion des travaux. A cette époque, la mine de Pontpéan travaillait dans des conditions fort difficiles au point de vue de l'épuisement: la machine d'exhaure du puits des Députés, à peine suffisante en allure normale, était sujette à des avaries fréquentes, qui amenaient à chaque fois l'inondation des niveaux inférieurs.

L'exécution rapide du traçage du 27^e niveau, au mur du gîte, était à cette époque une question vitale pour l'avenir de la mine; pour pouvoir poursuivre le travail sans arrêt, malgré les avaries de machine, on avait établi sur les traverses des niveaux supérieurs des serremments à portes en fonte, que l'on fermait dès qu'un accident se produisait dans le fonctionnement des pompes. L'eau fournie en grande quantité par le filon s'accumulait derrière le serrement; celle provenant du schiste encaissant arrivait seule dans les travaux préparatoires du 27^e niveau, exécutés au rocher; elle ne représentait qu'une venue insignifiante contre laquelle on pouvait lutter au moyen des bennes d'extraction.

Vers le milieu d'avril, on avait dû mettre ainsi en place le serrement du 24^e niveau; puis, l'avarie des pompes réparée, on avait épuisé les eaux accumulées.

Le 24 avril, vers deux heures du matin, deux ouvriers étaient descendus pour ouvrir le serrement, rétablir l'aé-
rage et faire aux boisages du niveau les réparations

nécessaires. L'un d'eux, ayant besoin d'une pelle, eut l'idée d'aller voir s'il n'en trouverait pas une dans la taille située immédiatement au nord de la traverse (point E de la *fig. 1*). A peine eut-il pénétré dans cette taille qu'il se produisit une explosion violente; il fut brûlé assez fortement à la figure, au cou et aux mains. Le gaz s'était évidemment accumulé dans la partie supérieure de la taille par suite de l'arrêt d'aérage dû à l'inondation.

Le 4 juin de la même année, il se produisit une nouvelle explosion dans la même taille, dont l'avancement était alors à une trentaine de mètres au nord de la traverse du puits. Cette fois ce fut à la suite du tirage d'un coup de mine que l'accident se produisit. En revenant à leur chantier après le tirage, les ouvriers Gérard et Gendrot remarquèrent que les flammes de leurs lampes s'allongeaient. Pour améliorer l'aérage, ils démolirent un petit plancher qu'ils avaient établi en travers de la taille et se retirèrent pour ne revenir qu'une demi-heure plus tard. Malgré les précautions qu'ils avaient prises, ils provoquèrent une explosion qui les brûla tous les deux, l'un légèrement, l'autre d'une manière assez grave.

L'accident semble dû à un dégagement brusque de gaz qui se serait effectué par des fissures ouvertes à la suite de l'explosion du coup de mine.

Vers la même époque (1876 et 1877), les dégagements gazeux se manifestaient activement au sol de la galerie latérale du 27° niveau, bien que cette galerie eût été tracée dans les schistes archéens à une certaine distance du mur du filon; ils eurent une assez grande importance au voisinage du puits des Députés (points GGG de la *fig. 1*) jusqu'à une distance de 130 mètres environ au sud de ce puits. Au nord, le gaz inflammable ne se montra guère dans la galerie latérale, mais il se manifesta en abondance lors du percement des coupe-

ments aboutissant au filon. Les dégagements gazeux cessèrent pendant quelque temps dans la galerie latérale pour reparaitre au nord du puits du Chapelet (points HHH de la *fig. 1*), c'est-à-dire lorsque la galerie arriva à la hauteur des quartz massifs de la colonne du nord; nous avons pu les observer, en 1884, entre le puits Saint-Joseph et le puits de la Nouvelle Mine. Le gaz cessa de se montrer lorsque le niveau eut dépassé la colonne métallifère dans la direction du nord.

Le traçage du 32° niveau ne s'effectua pas dans les mêmes conditions que celui des niveaux supérieurs. Le siège principal d'extraction et d'épuisement ayant été installé en 1881 au puits de la République, c'était de ce puits que devaient partir désormais tous les traçages. La galerie principale du 32° niveau fut exempte de gaz pendant assez longtemps, parce que la veine quartzreuse du mur n'existe pas à cette profondeur près du puits de la République; mais le gaz reparut dès que les travaux se retrouvèrent en contact avec cette veine. En 1890, à une date que nous n'avons pu connaître exactement, un ouvrier fut légèrement brûlé dans la 4° cheminée du 32° nord, à une vingtaine de mètres au-dessus du niveau (point J de la *fig. 1*). Cette cheminée se trouve à une cinquantaine de mètres au sud du puits des Députés.

Un accident analogue se produisit vers la même époque au nord du 14° coupement du 32° nord, c'est-à-dire un peu au sud du puits Saint-Joseph; l'ouvrier Frogerais fut légèrement brûlé en cette circonstance.

Dans toute la région, jusque vers le puits de la Nouvelle Mine (points KK de la *fig. 1*), le dégagement de gaz fut très actif en 1890, lors du traçage de la galerie au filon, comme nous avons pu le constater personnellement. Vers cette époque, M. Louis Garnier, sous-directeur des travaux, put capter sur le sol de la galerie, vers le 17° coupement, c'est-à-dire à 30 mètres environ au

sud du puits de la Nouvelle Mine, une quantité de gaz suffisante pour donner, pendant quelques heures, une flamme dont le pouvoir éclairant était égal à la moitié de celui d'une bougie. Il avait obtenu autrefois un résultat analogue dans la galerie latérale du 27^e sud, à une cinquantaine de mètres au sud du puits des Députés; la flamme avait persisté pendant huit heures sans interruption.

Lors de l'ouverture du 37^e niveau, le gaz apparut presque immédiatement. Le 24 février 1892, on l'observait à la base de la 3^e cheminée nord (point L de la *fig. 1*); un peu plus tard, vers le milieu de la 5^e cheminée nord (point M de la *fig. 1*).

Le 13 mars 1893, un accident sérieux se produisit dans une cheminée voisine du 4^e coupement nord, ouverte sur une hauteur de 6 à 7 mètres au-dessus du 37^e niveau (point P de la *fig. 1*). L'ouvrier Nouyer montait dans cette cheminée pour y reprendre le travail, suspendu pendant vingt-quatre heures : il était arrivé à 2 ou 3 mètres du sommet lorsque l'inflammation du gaz se produisit, lui causant des brûlures graves.

L'aérage de la remontée était assuré au moyen d'un tuyau en tôle de 0^m,15 de diamètre, où de l'air était insufflé au moyen d'une trompe, alimentée elle-même par de l'eau venant du 32^e niveau. On a attribué l'accident au gaz dissous dans cette eau, mais cette explication ne paraît pas bien satisfaisante. Le dégagement du gaz à travers l'eau qui couvre le sol des galeries; au voisinage de certains avancements, constitue à Pontpéan un état normal pendant de longues périodes; l'air insufflé par la trompe devrait donc être explosif d'une manière constante et non pas seulement après une suspension de travail. De plus, dans cette hypothèse, l'explosion aurait dû remonter dans le tuyau d'aérage jusqu'à la trompe, ce qui n'est pas arrivé. Il est bien plus vraisemblable que l'ap-

pareil, chargé de ventiler non seulement la remontée, mais aussi l'avancement nord du 37^e niveau, débitait une quantité d'air insuffisante pour diluer le gaz se dégageant du remplissage du filon lui-même et que ce gaz a pu s'accumuler pendant la suspension de travail jusqu'à former un mélange explosif.

Les mêmes observations s'appliquent à un accident arrivé le 15 juin 1894 dans des circonstances analogues.

La cheminée du 12^e coupement du 37^e nord, située à 200 mètres au sud du puits Saint-Joseph (point R de la *fig. 1*), était en cours d'exécution et arrivée à 22 mètres au-dessus de la galerie; elle était ventilée de la manière décrite ci-dessus, le tuyau d'aérage se terminant à 2 mètres du sommet. L'ouvrier Monizel montait à son chantier après une suspension de travail de deux heures; il était arrivé au niveau de l'extrémité du tuyau d'aérage lorsque le gaz s'enflamma à la lampe qu'il portait à son chapeau. Il tomba, mais put heureusement ressaisir l'échelle un peu plus bas; ses brûlures et ses contusions étaient assez graves pour entraîner une incapacité de travail d'une durée de cinq à six semaines. Le lendemain, on pouvait encore constater avec une lampe de sûreté la présence du gaz sur une hauteur de 2 mètres à partir du niveau où se terminait le tuyau d'aérage; ce fait prouve, d'une part, le peu d'importance du débit de celui-ci; d'autre part, l'insuffisance de l'explication tirée de la présence possible du gaz dans l'eau alimentant la trompe; dans cette hypothèse, l'atmosphère aurait dû être de composition sensiblement constante sur toute la hauteur de la cheminée, tandis qu'on n'y a trouvé de gaz en proportion appréciable que dans la partie non ventilée.

Des dégagements de gaz se sont produits en 1893 et en 1894 dans la galerie principale du 41^e niveau à une centaine de mètres au sud du puits de la République (points SS de la *fig. 1*); ils n'ont causé aucun accident.

Ils se sont bornés à des dégagements de bulles de gaz inflammable à travers l'eau couvrant le sol de la galerie, comme lors du traçage de tous les niveaux à partir du 20°. De même que pour les niveaux précédents, les dégagements gazeux se sont montrés en corrélation intime avec la présence de la colonne quartzeuse du mur qui, à cette profondeur, dépasse notablement le puits de la République vers le sud.

Discussion des observations faites à Pontpéan. — Parmi les nombreuses manifestations de gaz combustibles énumérées ci-dessus, les trois premières peuvent, à la rigueur, être attribuées à la décomposition des boisages, mais toutes les autres émanent incontestablement du remplissage du filon et spécialement de la puissante veine quartzeuse si développée au mur de la glaise bleue. Elles accompagnent les eaux qui sortent de ce remplissage ; on peut seulement se demander si elles prennent leur origine dans le remplissage quartzeux lui-même ou s'il ne faut pas en chercher la source initiale dans les matières organiques contenues dans le bassin tertiaire situé au toit ; dans ce cas, le filon métallifère jouerait simplement le rôle de zone perméable facilitant le drainage de ce bassin.

La deuxième théorie concorderait avec quelques-uns des faits indiqués ci-dessus ; elle est, au contraire, en désaccord avec un certain nombre d'autres, des plus importants.

Les explorations faites dans le terrain tertiaire n'y ont fait découvrir d'autres débris organiques que des veinules insignifiantes de lignite au contact immédiat de la faille ; elles n'ont d'ailleurs donné lieu à aucun dégagement d'hydrocarbures gazeux ou liquides.

Il en a été de même au cours de la grande recherche exécutée au 20° niveau dans les schistes du mur, au voi-

sinage immédiat du terrain tertiaire, jusqu'à 1.200 mètres au nord du puits de la Nouvelle Mine. A partir du moment où la galerie a dépassé les quartz du mur de la colonne métallifère, aucun dégagement gazeux ne s'y est jamais manifesté, ni dans la voie principale ni dans les traverses poussées à l'est de celle-ci jusqu'au terrain tertiaire ; cependant ces traverses ont donné lieu à des irruptions d'eau et de sables argileux assez intenses pour obliger à barrer la galerie.

Un des arguments, qui auraient pu autrefois faire admettre une corrélation entre le drainage du terrain tertiaire par les travaux de mine et les dégagements de gaz inflammable, était la concentration de ces dégagements dans la région nord des travaux, où le terrain tertiaire présente son maximum de puissance et où affluent principalement les eaux qu'il fournit. Cet argument a perdu aujourd'hui beaucoup de sa valeur, car les manifestations gazeuses se sont déplacées progressivement vers le sud, à mesure que les travaux s'approfondissaient ; elles ont nettement suivi l'allure générale de la colonne métallifère située au mur de la *glaise bleue* et des quartz qui en forment un élément important.

Un autre fait intéressant est la corrélation qui paraît exister entre les dégagements hydrocarburés et la salure des eaux qui sortent en même temps du remplissage du filon. Les eaux extraites de la mine de Pontpéan contiennent une proportion relativement élevée de sels divers, surtout de chlorures alcalins, comme le montre l'analyse ci-dessous, faite par le bureau d'essai de l'École supérieure des Mines, en août 1883 :

	Par litre.
Silice	0,0220
Bicarbonate de chaux	0,0648
— de protoxyde de fer	0,0031
A reporter	0,0899

	Par litre.
Report.	0,0899
Sulfate de chaux	0,9628
Chlorure de calcium	0,4295
— de magnésium.	0,8898
— de potassium.	0,0732
— de sodium	4,9680
— de zinc.	0,0452
Matières organiques	0,0020
Total	7,4604

Or il est facile de constater que les eaux qui proviennent des avancements extrêmes au nord et au sud de la mine sont sensiblement pures; il faut donc que les eaux sortant du filon lui-même, et accompagnant les dégagements gazeux contiennent une proportion de chlorure de sodium notablement supérieure aux 5 grammes par litre indiqués par l'analyse ci-dessus.

Le fait a été vérifié par quelques observations directes; c'est ainsi que M. L. Garnier a constaté, en 1884, la présence de 30 grammes de matières salines par litre dans l'eau d'une petite source sortant à la base de la 19^e cheminée du 27^e niveau, c'est-à-dire un peu au nord du puits de la Nouvelle Mine. Toutes les observations concordent d'ailleurs pour constater la salure très marquée des eaux qui sortent du mur du filon, depuis l'extrémité nord de la colonne métallifère jusqu'à une petite distance au sud du puits de la République, c'est-à-dire dans toute la région où se produisent les dégagements de grisou.

Nous retrouvons à Pontpéan une corrélation déjà signalée à propos des gites salifères; le sel et les hydrocarbures devraient donc avoir ici encore une origine commune. Cette origine ne peut être cherchée dans le terrain tertiaire; peut-on la trouver dans les schistes archéens? Nous ne le pensons pas, car les nombreux travaux exécutés dans ces schistes, au mur du gîte, donnent

toujours de l'eau douce, peu abondante, et ne rencontrent jamais d'hydrocarbures gazeux, excepté dans le voisinage immédiat du gîte métallifère.

On est amené à conclure qu'à Pontpéan, comme à Duncan Mine, à Silver Islet, à Morro Velho, à Van, les dégagements de gaz inflammables proviennent du remplissage métallifère lui-même, imprégné d'hydrocarbures à une époque probablement contemporaine de sa formation. Cette manière de voir est confirmée par la fréquente présence de matières organiques dans les quartz filoniens de toute origine.

Explications possibles de l'origine des hydrocarbures.

— L'hypothèse de la sécrétion latérale doit être immédiatement écartée. On a vu que ni les schistes archéens, ni le terrain tertiaire ne contiennent d'hydrocarbures; la diorite ne semble pas en renfermer davantage, car on n'a jamais constaté de dégagement de gaz inflammables dans les galeries tracées à travers cette roche, en dehors du gîte.

On est donc obligé d'admettre une origine extérieure, par voie de dissolution soit ascendante, soit descendante. La première hypothèse n'éclaircit pas beaucoup le problème; dire que les hydrocarbures contenus dans le remplissage d'un filon métallifère viennent des zones profondes de l'écorce terrestre, comme ce remplissage lui-même, n'apprend au fond rien de précis sur leur mode de formation.

Si l'on veut préciser davantage, en ayant recours à la réaction de l'eau sur des carbures métalliques, préexistants dans le noyau central, on se trouve en présence de difficultés d'un autre ordre. On a étudié aujourd'hui, d'une manière assez complète, un des carbures dont on peut admettre l'existence dans les parties profondes du globe terrestre, le carbure de calcium, et l'on sait que ce corps en

réagissant sur l'eau donne non pas du formène, mais bien de l'acétylène. Or, on n'a jamais observé ce dernier corps dans les émanations naturelles, bien que ses caractères physiques et chimiques le rendent facile à reconnaître.

L'origine profonde des hydrocarbures contenus dans le remplissage des filons métallifères semble donc peu probable, tandis que leur origine superficielle expliquerait l'analogie de composition qui existe entre ces hydrocarbures et les produits d'altération des matières végétales à l'abri de l'oxygène.

C'est à cette décomposition qu'on doit certainement attribuer l'accumulation des gaz inflammables contenus en grande quantité dans les gîtes de sel et de soufre, ainsi que dans certains gîtes de plomb encaissés dans des roches sédimentaires, tels que ceux du Derbyshire et du Flintshire. Il serait assez naturel d'attribuer la même origine au grisou de Pontpéan, accompagné d'eaux chargées de chlorure de sodium, si l'on pouvait établir une corrélation logique entre deux catégories de gîtes aussi différents à première vue.

Pour y arriver, il faut d'abord prendre pour point de départ la précipitation des métaux sous forme de sulfure dans des sédiments formés à l'intérieur de lagunes fermées ou ne communiquant avec la mer que par un seuil peu profond.

M. Dieulafait, (*Ann. de chimie et de physique*, 5^e série, t. XVIII, p. 349, et XXI, p. 256), a cherché à expliquer ainsi la formation de gîtes métallifères contemporains des roches sédimentaires dans lesquels ils se trouvent intercalés, tels que les schistes cuivreux du Mansfeld; mais les preuves qu'il avait fournies à l'appui de ses théories pouvaient paraître insuffisantes.

Depuis cette époque, la constatation faite de la présence d'acide sulfhydrique libre dans les eaux profondes de la mer Noire, est venue fournir un argument positif en

faveur de cette théorie et montrer que la précipitation de sulfures métalliques par l'action des matières organiques, en présence des sulfates contenus dans l'eau de mer, pouvait s'effectuer sur une grande échelle dans les mers actuelles.

Mais il restait à relier la formation des gîtes filoniens à celle des gîtes interstratifiés. Certaines observations récentes peuvent en fournir le moyen, notamment celles faites au cours du percement du tunnel du col de Cabre.

Au cours de ce percement, on a rencontré une source sulfureuse assez abondante, sortant des marnes noires, chargées de matières organiques, d'où se dégageaient également les gaz inflammables qui donnèrent lieu, en 1887, à une explosion meurtrière. Cette source sulfureuse avait évidemment pour origine la dissolution d'acide sulfhydrique ou de sulfures, soit alcalins, soit alcalino-terreux, préexistant dans la roche, ou bien encore la réduction exercée par les matières organiques en présence de l'eau sur le sulfate de chaux contenu dans les marnes.

Quelle que soit son origine, une eau fortement chargée d'acide sulfhydrique et de sulfures solubles peut entraîner avec elle les sulfures métalliques qui s'étaient au contraire précipités en dissolution sulfhydrique étendue, c'est-à-dire au moment du dépôt des marnes et qui en imprégnaient les assises. Elle laissera reprécipiter ces sulfures si elle circule lentement dans de grands vides, permettant la diffusion de l'acide sulfhydrique, ou plus rapidement dans des fissures relativement étroites, mais dont les parois seraient formées de roches capables d'exercer une action chimique relativement énergique.

Ces deux actions précipitantes ont dû contribuer simultanément à la formation des gîtes qu'on peut appeler *proto-calaminaires*, c'est-à-dire des gîtes de blende, galène et pyrite, encaissés dans les calcaires et trans-

formés par la suite, plus ou moins complètement, en gîtes de calamine par voie d'altération oxydante, en conséquence d'une série de phénomènes que nous avons exposés ailleurs (*Bull. Soc. Géol.*, 3^e série, t. XIX, p. 783).

Pour cette catégorie de gisements métallifères, les arguments en faveur de la théorie que nous venons d'esquisser sont importants et nombreux; ils le sont beaucoup moins en ce qui concerne les filons ordinaires.

Nous avons cru cependant devoir exposer ici l'hypothèse de la formation des filons par voie de circulation descendante, parce qu'elle donne une explication naturelle de la présence si fréquente d'hydrocarbures gazeux dans le remplissage même des filons.

Dans le cas du gîte de Pontpéan, objet spécial de cette étude, il resterait à rechercher quelles sont les couches d'origine lagunaire, chargées à la fois de sulfures métalliques et de matières organiques, auxquelles auraient été empruntés les éléments du remplissage. La solution de ce problème eût été fort difficile autrefois; elle se trouve aujourd'hui relativement simplifiée par les travaux de M. Charles Barrois sur la structure générale de la région. D'un de ces travaux, publié en 1894 (*Le bassin de Menez-Belair, Ann. de la Soc. géol. du Nord*, 1894, p. 181 à 350) il résulte que les assises carbonifères, aujourd'hui disparues de toute la région centrale de la Bretagne, ont dû s'y développer sur une grande surface avant d'être enlevées par d'immenses dénudations, succédant à des plissements et renversements d'une très grande amplitude.

Dans la Sarthe et la Mayenne, jusqu'à la limite de l'Ille-et-Vilaine, ces assises carbonifères comprennent de puissantes couches schisteuses, renfermant des gîtes de combustibles, qui ont un caractère lagunaire bien net; elles conservaient sans doute ce caractère dans le bassin de Rennes qu'elles ont dû recouvrir complètement à un

moment donné d'après les coupes théoriques données par M. Barrois.

Ce serait sans doute dans ces couches qu'il faudrait aller chercher l'origine primordiale des éléments métallifères du filon de Pontpéan, si on se décidait à admettre, pour expliquer sa formation, la théorie que nous venons d'exposer.

NOTE

SUR LES

ANCIENNES INSTALLATIONS D'ÉPUISEMENT

DES MINES DE CHATEAUVERDUN

Par M. G. VIEIRA, Ingénieur au corps des mines.

L'exploitation des mines de fer de Châteauverdun paraît avoir été sinon commencée, au moins organisée, avant celles des mines de Rancié, qui sont cependant considérées habituellement comme les plus anciennes de la région. C'est du moins ce qui résulte du passage suivant de la transaction intervenue en 1355, entre le sénéchal du comté de Foix et les consuls de Vicdessos :

« Plus ledit seigneur Sénéchal a voulu et accordé que dans ladite minière (celle de Rancié), on en use de la même manière qu'on use de la minière du Château-Verdun » (*).

Les renseignements historiques manquent presque complètement sur Châteauverdun; on ne connaît guère que ce que dit Dietrich de cette exploitation.

« On sait qu'il y avait au bas de sa pente occidentale (il s'agit du Pech de Gudanes), environ à 600 toises du château de Gudanes, une machine hydraulique qui élevait les eaux de ces mines jusqu'à une galerie d'écoulement

(*) François. *Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées*. Pièces justificatives.

inférieure (*sic*) aux corps de pompe, et qu'au moyen de cette machine, construite autrefois par un provençal, les miniers étaient à sec et fournissaient du minerai en abondance. Il faut que les travaux aient été poussés dans cette partie au-dessous de la galerie d'écoulement, sans cela les pompes eussent été superflues.

« Suivant une notice sur les mines du Pech, extraite de plusieurs pièces qui se trouvent entre les mains de M. le président de Lahage, on tirait, en 1692, de la mine des miniers de Madame et de Guinette, qui ne faisaient qu'un seul minier. Il y avait six calèbes ou pompes à bras, à chacune desquelles étaient quatre hommes. Les eaux s'écoulaient dans un puits du minier de Guinette où étaient les pompes mues par deux grandes roues que les eaux, tirées de la rivière d'Aston, faisaient agir. Ces pompes élevaient l'eau dans des encaissements, d'où elles se vidaient dans des canaux de bois qui les conduisaient au jour. L'artifice ou machine hydraulique était aux arbres, au bout de la terrasse. Le minier finit en 1723 » (*).

Dietrich, qui dit n'avoir pu pénétrer dans les travaux, alors noyés ou encombrés, donne ensuite des renseignements financiers sur les deux galeries que M. de Gudanes fit faire, au niveau de la rivière, par un sieur Goujeon, qui devait également diriger les travaux des mines.

Lorsque, dans ces dernières années, on a cherché à reprendre les travaux de Châteauverdun, les lacunes de cette description ont été cause de certaines difficultés; nous verrons même que par exception, et pour la première fois peut-être, l'exactitude proverbiale de Dietrich est ici en défaut. En outre, les noms sous lesquels les travaux sont actuellement connus ne sont pas ceux sous

(*) Description des mines, des forges et des salines des Pyrénées. Paris, 1786.

lesquels on les distinguait autrefois. L'historique rapide de cette reprise peut avoir un certain intérêt, ne serait-ce qu'en montrant la part considérable du hasard dans les travaux de ce genre.

N'ayant pu connaître quel était celui des nombreux gites anciens que Goujeon avait exploité, ne trouvant aucune trace de travaux à 600 toises du château de Gûdanes, et ne sachant quel était l'endroit désigné sous le nom de *la Terrasse*, les exploitants se décidèrent à explorer la montagne par une galerie dite *Sainte-Barbe*, prise au bord de la rivière, aussi bas que possible et bien en aval de la position possible du percement de Goujeon; ils se dirigeaient vers de grands effondrements situés derrière le village de Pech et dans lesquels on n'avait encore pu pénétrer. La galerie, après avoir traversé un seuil schisteux, tomba dans une large vallée souterraine composée de sables mouvants, aquifères, dans lesquels l'avancement était impossible par les procédés ordinaires; le picotage ne put réussir davantage à cause des galets et blocs granitiques parsemés dans les sables et on dut relever le niveau de 3 mètres pour passer au-dessus de la zone aquifère.

On trouva bientôt d'anciens travaux étroits exécutés sur un filon nord-sud et présentant à leur entrée des vides pleins d'eau, qui descendaient à 5 ou 6 mètres au-dessous de la galerie moderne. Ces vides furent comblés pour laisser passer la galerie qui, après avoir suivi les anciens travaux pendant une soixantaine de mètres, les quitta pour obliquer au sud-est dans la direction primitive.

Des difficultés d'aérage s'étant présentées sur ces entrefaites, on reconnut que les anciens travaux du Camp, récemment réouverts, descendaient tout près du front de la galerie et on dévia celle-ci dans le triple but de trouver un passage plus commode, de faciliter

l'aérage et d'explorer en même temps ce gite inconnu.

En perçant dans ces vides, on se trouva en face d'un gouffre étroit plein d'eau, ayant environ 1^m,50 de largeur sur 2 à 3 mètres de longueur; les sondages accusèrent 10 à 12 mètres de profondeur. Croyant être en présence d'un défilage analogue au précédent et sans importance, on traversa le Gouffre sur un pont provisoire et on y versa tous les déblais de l'avancement. Celui-ci était fait non dans les anciens travaux éboulés et d'un accès dangereux, mais dans une fissure mince résultant du décollement du toit des vides. A 50 mètres plus loin, on rencontra à la voûte de la fissure une source considérable semblant sortir des anciens travaux supérieurs, et en recherchant sa provenance on découvrit, à 3 mètres au-dessus de la galerie moderne, une galerie en roche, à contre-pente, obstruée par la vase, qui fut asséchée au moyen d'un siphon, déblayée et explorée.

Cette galerie, transversale au gite des anciens, n'avait guère plus de 1^m,50 de hauteur sur 1 mètre de largeur et était restée intacte, dans les calcaires du toit, sur une longueur de 62 mètres; au delà, elle paraissait se prolonger dans des sables mouvants, évidemment remaniés, où il a été impossible de la relever. D'après la direction, la pente et le niveau de cette galerie, elle devait passer un peu au-dessous de la Forge neuve, dont l'établissement est relativement moderne et pouvait sortir au jour, sur le bord même de la rivière. Le défrichement récent de ce quartier, transformé en prairies il y a une trentaine d'années, ne permet de faire aucune recherche sur ce point.

Cette galerie était évidemment celle de Goujeon et la machine hydraulique, entre les *artifices* de laquelle, suivant Dietrich, aurait été percée la dernière galerie, celle qui se prolongeait probablement jusqu'à la rivière, devait se trouver aux environs de la Forge neuve, soit

que celle-ci n'existât pas alors, soit que les deux roues hydrauliques mentionnées fussent alimentées par une dérivation du canal actuel de cette forge (*), le seul qui existe dans les environs avec le canal d'arrosage du château, situé beaucoup trop haut. Seulement la distance depuis le château de Gudanes n'est que de 460 mètres au lieu de 600 toises indiquées par Dietrich, et il est évident que si la galerie Goujeon, dont la partie d'aval est actuellement obstruée par les sables, n'avait déversé dans l'intérieur des travaux les eaux d'infiltration qu'elle conduisait autrefois au dehors, on n'aurait jamais soupçonné sa présence au milieu des anciens travaux éboulés.

Entre temps, l'exploration des effondrements de Pech avait fait découvrir d'anciens travaux qui ont été réouverts sur 500 mètres de longueur et 80 mètres de profondeur, présentant des vides analogues à ceux de Rancié et dont l'un cube plus de 4.000 mètres. Ces travaux, complètement dépilés, ont pu être suivis jusqu'à la cote + 33, le seaux empêchant de pousser l'exploration plus bas, à 27 mètres seulement au-dessus de la nouvelle galerie Sainte-Barbe; il n'y avait donc pas lieu de poursuivre à ce niveau des recherches nécessitant un travers-bancs de plus de 200 mètres.

On résolut alors d'explorer le Gouffre, qui devait faire partie des travaux de Goujeon, et on y installa des pompes mues par une turbine, sous une chute de 39 mètres dérivée du canal d'arrosage du château. On descendit ainsi jusqu'à 42 mètres dans un dépilage coupé à des niveaux successifs par des planchers supportant les déblais; le gîte, compris entre toit et mur calcaire, avait une puissance de 1 mètre à 2^m,50 avec un pendage de 72°.

(*) Ce canal présente, un peu en amont du bassin de retenue, une chute d'environ 1 mètre tout à fait inexplicable si elle n'actionnait les roues indiquées par Dietrich.

Ces boisages, généralement en chêne ou en pin, étaient en parfait état de conservation, grâce à leur séjour prolongé et ininterrompu dans l'eau, et on n'a eu qu'à les consolider partiellement; les bois étaient même devenus d'une dureté exceptionnelle. Au milieu de ce dépilage était ménagé une sorte de puits, incliné suivant la pente du mur, dans lequel on a trouvé quantité de débris de pompes en bois tout à fait analogues à celles qui sont décrites dans le traité d'exploitation de Combes. Leur nombre était de 10 à 11, placées en répétition, les unes au-dessus des autres, et deux étaient en place, à peu près complètes. Elles se composaient de trois troncs de sapin, de 1^m,50 de longueur environ, quelquefois près de 2 mètres, sur 0^m,20 à 0^m,22 de diamètre extérieur, forés, cerclés en fer à la partie inférieure et amincis à la partie supérieure qui était enmanchée dans le tuyau suivant. Une soupape dormante, percée dans un bloc de bois, avec clapet en cuir, fixée au bas du tuyau inférieur; en haut, un piston formé d'un tampon cylindro-conique en bois, de 0^m,115 à 0^m,135 de diamètre sur 0^m,08 de hauteur, percé de quatre trous cylindriques de 0^m,022 à 0^m,025 de diamètre, recouvert de plusieurs rondelles de cuir formant soupape. Le piston était fixé par une clavette à une tige en fer reliée par une tringle en bois de 0^m,04 à 0^m,05 à une autre tige en fer munie d'un œil; le mouvement était donné par un levier en fer, pivotant autour d'un axe placé sur une fourche, et terminé par une pointe dans laquelle s'emmanchait le levier de manœuvre en bois. Chaque pompe portait à la partie supérieure un évasement qui se déversait dans une caisse en bois où plongeait la pompe suivante; les tuyaux étaient simplement maintenus par des agrafes en fer clouées à un bout sur la pompe et à l'autre sur les boisages. La longueur utile de chaque pompe était de 3^m,50 à 4 mètres, déduction faite des emboîtements et

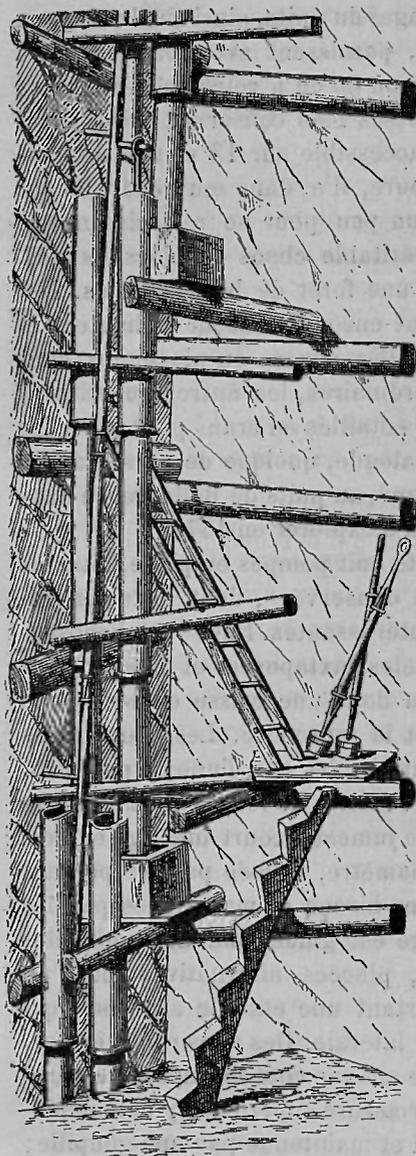
de la hauteur de déversement dans la caisse; c'étaient, comme on le voit, des aspirantes élévatoires. On ne trouve sur les pistons aucune rainure pouvant recevoir une garniture circulaire en chanvre et celle-ci devait être constituée par une rondelle de cuir, emboutie ou non, fixée au-dessous des rondelles-soupapes et dont il semble voir encore la trace sur le dessus des pistons. Il reste encore un tuyau engagé au fond du puisard du puits actuel Sainte-Barbe et, par conséquent, la hauteur totale d'élévation, depuis ce fond à la cote — 35 jusqu'à la galerie Goujeon à la cote + 9,50, en tenant compte du tuyau engagé et de la pente des canaux de décharge entre le puits et la galerie, sur 50 mètres de longueur, devait être de 46 mètres, comprenant probablement onze à douze pompes.

Quelques années plus tard on trouva, 125 mètres plus au sud, une seconde colonne de pompes, dont deux furent rencontrées par la descenderie n° 3 de Sainte-Barbe. Ces pompes, identiques aux précédentes, étaient renversées et incomplètes au milieu des éboulis. Les anciens travaux, dont on connaît maintenant le niveau, ne descendaient dans cette région qu'à la cote — 13 ou — 14; la colonne de pompes, pour conduire les eaux au niveau de la galerie Goujeon et franchir la distance de 75 mètres qui l'en sépare, devait avoir une hauteur de 23 à 24 mètres seulement et comprendre six pompes. On n'a trouvé aucune trace du mode d'installation, les gîtes étant plus puissants sur ce point et complètement éboulés.

Tout dernièrement on a trouvé entre ces deux colonnes de pompes, à 18 mètres seulement de la galerie Goujeon, un autre puits complètement boisé, pratiqué dans un gîte puissant, entre une paroi de minerai, laissé comme soutien, et un barrage d'argiles et de roches rouges. La partie inférieure de ce puits est comblée par les argiles entraînées par les eaux sur une hauteur de

6 à 7 mètres et les boisages du puits, ainsi que les tuyaux des pompes inférieures, paraissent avoir été emportés dans les éboulis voisins où on en a retrouvé les débris; plus haut le puits est assez bien conservé, boisé, garni sur trois faces, encore accessible sur 13 mètres de hauteur. A la partie inférieure, il a, dans œuvre, 1^m,95 sur 1^m,60, puis il s'évase un peu pour se rétrécir dans le haut qui présente un véritable chaos de blocs éboulés, autrefois soutenus par une forêt de bois écroulés. Des planchers, qui subsistent encore, divisent la hauteur et sont reliés par des échelles encore en place, les unes conformes aux engins ordinaires, les autres constituées par de simples madriers entaillés en crans pour poser les pieds. Ce travail est analogue, quoique de plus grandes dimensions et moins soigné, au puits de Bellagre, de Rancié, que j'ai eu l'occasion d'explorer en 1874.

On trouve dans ce puits huit pompes en place, intactes et complètes, très bien conservées, dont l'examen révèle des particularités intéressantes. Elles sont disposées en deux colonnes parallèles juxtaposées et chaque paire de pompes déverse l'eau dans une caisse en bois où la colonne supérieure vient la reprendre. Les deux paires de pompes complètement visibles ont, l'une un peu plus, l'autre un peu moins de 4 mètres de longueur utile. Entre les deux corps de pompe jumeaux court une tige en bois de 0^m,10 à 0^m,12 de diamètre, formée par des perches ajustées l'une à l'autre en biseau et maintenues par des cercles en fer; cette tige est guidée par des poutrelles horizontales parallèles, placées alternativement d'un côté et de l'autre et portant une entaille à mi-bois qui empêche toute déviation latérale. Des axes ronds en fer, fixés par des équerres de chaque côté de la tige, actionnent les pistons dont l'armature supérieure y est simplement enfilée par son œil et maintenue par une goupille; cette disposition permettait de racheter le défaut de pa-



dont le bas est envasé (il devait exister au-dessous un

rallélisme obligé entre la tige et les corps de pompe, celle-ci devant passer au milieu de l'intervalle de chaque paire successive de pompes, qui se trouve en retraite de 0^m,40 à 0^m,50 sur la paire inférieure. Les pompes, soit par un défaut dans la pose, soit par un mouvement subséquent, ne sont pas absolument verticales, et la tige de transmission pour racheter les retraits successives a une inclinaison de 10 à 12 p. 100 sur la verticale.

Le croquis ci-contre, à l'échelle de 1/50^e, montre l'aspect du puits et la disposition des appareils; on a supposé les parois N.-O. et S.-O. enlevées pour laisser voir l'intérieur. Comme on peut le remarquer, les pistons de la paire de pompes inférieure,

autre jeu de pompes qui n'a pas été retrouvé), ont été enlevés par les anciens et on les a trouvés déposés par côté, appuyés contre l'angle du puits; la paire de pompes suivante, en montant, n'avait qu'un piston en place, l'autre avait été retiré et n'a pas été retrouvé; la paire de pompes suivante avait ses pistons enlevés. On ne peut faire que des conjectures sur le motif de cet enlèvement des pistons, soit que les anciens aient été surpris par les eaux pendant une réparation ou pendant le démontage définitif de l'installation, soit qu'on ait laissé exprès les eaux monter, pendant la saison pluvieuse par exemple, et que cet enlèvement n'ait eu pour but que de diminuer les frottements des pompes noyées lors de la reprise qu'on comptait faire.

Le fond de ce puits est indiqué aujourd'hui par le niveau des anciens travaux qui descendent sur ce point à la cote — 25,50 et présentent une épaisseur considérable d'argiles stériles; sa hauteur totale jusqu'à la galerie Goujeon était de 35 mètres et les pompes devaient être au nombre de 18. On voit donc que les trois installations d'épuisement de Châteauperduin comprenaient 35 à 36 pompes, sur lesquelles on en a effectivement retrouvé 21; on est loin des six pompes de la notice dans laquelle Dietrich a puisé ses renseignements. En supposant qu'il y eût quatre hommes à chaque pompe, ainsi qu'il résulte de cette notice, il aurait fallu un personnel de 140 manœuvres, rien que pour l'épuisement.

Actuellement tout cet attirail est remplacé par une seule pompe à piston plongeur de 0^m,18 de diamètre et 1^m,20 de course, qui refoule l'eau à 42 mètres de hauteur. L'entretien d'eau, un peu variable avec les saisons, est en moyenne de 50 à 60 litres par minute. Les sources proviennent de trois quartiers bien distincts, séparés par des barrages de roches stériles et correspondant assez bien aux trois installations des anciens; la première,

équivalant au quart des eaux totales, à peu près, provient des travaux de l'avancée sud et devait être élevée par les pompes de la descenderie, dont le fond est séparé du gîte central par un filon mince de minerai dur dans lequel les anciens ne sont pas descendus très bas; la seconde, qui donne un peu plus de la moitié du débit total, correspond au puits boisé des pompes jumelles et paraît provenir de travaux encore peu connus dans le mur du côté de l'est; la troisième, correspondant aux pompes du gouffre, atteint à peine le quart du débit total et on a pu constater, pendant les travaux de reprise, que les eaux du puits central n'avaient aucune communication avec le Gouffre au-dessous du niveau — 13 de la galerie Sainte-Barbe n° 2, qui a justement suivi cette source à ce niveau.

En supposant que le volume des eaux n'ait pas sensiblement varié depuis la dernière période des travaux jusqu'à l'époque actuelle, le travail utile nécessaire à l'élévation des eaux de la source du Gouffre, pour un débit de 15 litres par minute à 50 mètres de hauteur (en tenant compte des 0^m,30 à 0^m,40 de hauteur perdue à chacune des répétitions), était de $15 \times 60 \times 24 \times 50 = 1.080.000$ kilogrammètres par 24 heures. En admettant un rendement de 50 p. 100 en eau montée, comme un manœuvre peut, en agissant sur un levier dans les conditions indiquées, développer 162.000 kilogrammètres en 10 heures, il fallait quatorze manœuvres pour faire ce travail. En fait, on ne pouvait mettre moins de deux manœuvres à chaque pompe, en formant relai, et il en fallait vingt-deux pour cette partie de la mine.

Un calcul semblable montre qu'il fallait douze manœuvres pour les pompes de la descenderie du Sud.

L'installation du puits central est différente et en un sens plus avantageuse, parce que les pompes étant mues par une seule et même tige (au moins les dix pompes infé-

rieures), les ouvriers étaient tous concentrés sur le même point, ce qui permettait d'utiliser toute leur force et rendait la surveillance plus facile. Il faut seulement remarquer que, ces pompes étant des aspirantes élévatoires, le soulèvement de la tige motrice, contrairement à ce qui se passe dans les installations classiques de pompes étagées, nécessitait, en outre du travail utile de l'élévation de l'eau, l'élévation inutile et parasite du poids même de cette tige qui ne produisait aucun travail utile en redescendant. Il était donc nécessaire, pour récupérer ce travail perdu, d'installer en haut du puits, de l'autre côté du levier de manœuvre auquel étaient attelés les hommes, un contrepoids convenable pour équilibrer le poids des tiges. Il y a peu de chances de trouver traces de cet attirail, les travaux étant complètement éboulés et inaccessibles au niveau de la galerie Goujeon. Le travail utile correspondant à l'élévation de 30 litres d'eau par minute à 35 mètres de hauteur plus 3 mètres pour la perte causée par les répétitions, est de $30 \times 60 \times 24 \times 38 = 1.641.600$ kilogrammètres. Avec une installation aussi rudimentaire et les frottements que devait entraîner le guidage de la tige, le rendement ne pouvait être supérieur à 40 p. 100, soit à développer un travail moteur de 4.104.000 kilogrammètres nécessitant l'emploi de 26 hommes en un ou plusieurs postes. Nous arrivons donc au chiffre total de 60 hommes qui devaient être nécessaires à la manœuvre des pompes; il faut ajouter à ce chiffre considérable les hommes employés au transport du minerai qui s'effectuait à dos, en remontant, soit par la galerie Goujeon, bien basse et bien étroite pourtant, jusqu'aux environs de la forge neuve, soit jusqu'à l'entrée de la descenderie du Camp, à la cote + 62 mètres, la plus basse des anciennes entrées de mine connue dans la région. Il est probable que c'est cette exagération croissante de la main-d'œuvre qui a causé l'abandon de la mine malgré

le prix élevé des minerais de fer à cette époque, car tout le fond des anciens travaux est en beau minerai.

L'installation du puits des pompes jumelles paraît beaucoup mieux s'adapter à l'emploi d'un moteur mécanique qu'à l'utilisation de la force humaine ; il ne semble pourtant pas, d'après l'étude des lieux, qu'il en ait été ainsi. Les seuls canaux existant aux environs sont celui dit du Château, à la cote + 45, étroit et ne pouvant porter que quelques litres, et le canal de la Forge neuve, à la cote + 20, débitant près d'un mètre cube par seconde. Pour utiliser le premier qui coule à 40 mètres dans le toit du gîte, il aurait fallu amener les eaux dans la mine au moyen d'un percement qui aurait laissé des traces visibles dans la roche calcaire affleurant au jour (c'est la solution adoptée par les exploitants modernes), et l'utilisation d'une chute motrice de 35 mètres, avec un débit de 5 à 6 litres n'était possible qu'avec les machines à colonne d'eau inconnues à cette époque. Il résulte d'ailleurs des renseignements qui m'ont été fournis par M. Baudon de Mony, propriétaire actuel du château de Gudanes, que ce canal n'existait pas en 1700.

On aurait pu plus facilement se servir des roues hydrauliques installées à *la Terrasse*, c'est-à-dire près de l'emplacement actuel de la Forge neuve, pour actionner le système des pompes au moyen des lignes de tirants classiques des mines allemandes ; cette solution était tout à fait dans les idées de l'époque et elle était très possible, la distance du moteur aux puits n'étant que de 260 mètres. Mais dans ce cas les lignes de tirants auraient nécessairement dû passer par la galerie Goujeon, qui n'aurait pu servir au sortage des minerais, et on aurait retrouvé dans cette galerie, qui est intacte sur 62 mètres, sinon les tirants eux-mêmes qui ont pu être enlevés, au moins les scellements des consoles oscil-

lantes qui les supportaient. Il paraît donc très probable que s'il existait, comme le dit Dietrich, une installation hydraulique extérieure pour extraire les eaux rassemblées dans le puits de Guinette, tout l'épuisement intérieur se faisait à bras. Ce qu'on ne peut s'expliquer, c'est le chiffre de quatre hommes par pompe donné par Dietrich. En faisant servir chaque pompe des colonnes du Gouffre et de la descenderie par deux postes de deux hommes, l'un de jour, l'autre de nuit, se relayant alternativement, on aurait obtenu un débit bien supérieur à la venue d'eau des sources correspondantes et quatre hommes auraient été insuffisants pour mener les dix-huit pompes jumelles, en admettant même que la tige fût interrompue au delà de la partie inaccessible du puits et le groupe partagé en deux.

On trouve à divers niveaux dans les anciens travaux des couches d'argile à peu près horizontales intercalées dans les éboulis de l'exploitation, ce qui indique que le niveau des eaux a varié dans d'assez larges limites et pendant des périodes assez longues. Il est probable que ce résultat provient d'inondations accidentelles et il est difficile de croire que l'épuisement fût régulièrement suspendu pendant la mauvaise saison et repris en été ; ce procédé, outre le danger de compromettre la solidité des travaux, n'aurait guère été économique, car la mine n'aurait pas eu le temps de se remplir pendant l'arrêt et le volume total des eaux à extraire aurait en somme été le même, bien que d'une profondeur un peu plus faible. Lors de la reprise du puits du Gouffre, on a eu souvent l'occasion, soit à la suite d'accidents, soit pour déplacer les pompes, de suspendre momentanément l'épuisement ; on en a profité pour mesurer de combien les eaux remontaient dans le puits et on a trouvé en moyenne 0^m,20 par jour. Dans ces conditions, il aurait fallu environ six mois pour remplir les travaux. On

remarquera, en outre, que les ouvriers du pays ayant l'habitude, comme le fait remarquer M. François, d'aller charbonner pendant l'été, il aurait été beaucoup plus difficile de trouver à ce moment le nombreux personnel nécessaire aux travaux et on n'aurait su à quoi l'occuper pendant l'hiver.

Ce même chiffre de 0^m,20 par jour peut aussi donner une mesure, non pas précisément de l'étendue des anciens travaux, mais de l'importance des vides résultant de l'exploitation et non remblayés, bien que ces vides, ne soient ni connus ni accessibles. Le débit des sources étant de 50 à 60 litres par minute, le volume par vingt-quatre heures est de 72 à 86 mètres cubes et par suite la section horizontale des vides non remblayés doit être de 360 à 430 mètres carrés; l'exploitation a dû porter sur une surface notablement plus considérable, mais comparable.

D'après M. François, on trouve dans la vallée d'Aston les vestiges de huit feux catalans ou autres; d'après les renseignements historiques, il existait, au XVIII^e siècle, cinq forges sur la terre de Gudanes, sans compter les forges d'Urs et de Luzenac, qui sont très rapprochées. Les chiffres donnés par M. François permettent d'évaluer la production de ces sept forges à 10.800 quintaux métriques de fer et leur consommation à 3.250 tonnes de minerai; il est probable que la plus grande partie provenait de la mine de Châteauverdun.

L'installation d'épuisement de Saint-Étienne-de-Baigorry, décrite par Dietrich, était jusqu'ici la seule connue dans les Pyrénées au siècle dernier; elle était plus importante et plus complète que celle de Châteauverdun et comportait des moteurs hydrauliques; celle que je viens de décrire présente cependant un certain intérêt historique, et il est curieux de trouver un attirail aussi compliqué et nécessitant une main-d'œuvre aussi consi-

dérable dans une mine de fer dont la production était en somme peu importante.

L'examen des vieux travaux de Châteauverdun peut donner quelques indications sur le mode d'exploitation. Lorsque le gîte était étroit, comme au défilage du Gouffre, on enlevait tout le minerai et les stériles provenant des salbandes et des éboulements étaient déposés sur des planchers supportés par de fortes poutres encastrées normalement entre le toit et le mur. Ces planchers subsistent encore, et on a trouvé des traces de travaux analogues dans le quartier de la descente n° 3, où les poutres, noyées dans les éboulis, avaient jusqu'à 5 et 6 mètres de longueur. Lorsque le gîte était plus puissant, il semble qu'on l'a exploité par piliers abandonnés avec éboulement subséquent, suivant le système qui est encore pratiqué aux mines de Rancié.

Toulouse, le 19 mars 1895.

BULLETIN

**STATISTIQUE DES CABLES D'EXTRACTION
DANS LE DISTRICT DE DORTMUND DE 1872 A 1893.**

1° *Câbles en service.*

La statistique a été créée en 1872. Elle a été depuis continuée régulièrement et a donné les résultats suivants :

ANNÉES	NOMBRE des mines qui ont transmis des renseignements	CABLES PLATS en				CABLES RONDS en		NOMBRE total des câbles d'extraction pour les puits
		acier	fer	aloès	chanvre	acier	fer	
1872	59	1	28	9	1	6	69	114
1873	76	1	26	9	»	23	97	156
1874	92	4	30	14	2	42	106	198
1875	97	8	23	5	4	74	112	226
1876	91	11	11	6	1	85	103	217
1877	85	17	10	3	»	81	67	178
1878	90	28	3	5	»	102	64	202
1879	78	23	3	3	»	99	44	172
1880	79	19	2	8	»	106	35	170
1881	76	20	6	1	»	97	41	165
1882	89	25	4	4	»	126	35	194
1883	85	20	1	4	»	138	24	187
1884	85	30	»	3	»	139	18	190
1885	86	37	»	5	»	163	26	231
1886	95	33	»	3	»	161	7	204
1887	91	32	»	4	»	156	9	201
1888	101	45	»	1	»	201	2	249
1889	99	48	»	3	»	181	7	239
1890	96	45	»	2	»	196	3	246
1891	111	46	»	2	»	229	7	284
1892	96	52	»	1	»	210	1	264
1893	106	47	»	2	»	233	1	283
1872-93	»	502	147	97	8	2.848	878	4.570

2° *Câbles rompus en service.*

Sur ces 4.570 câbles mis en service pendant les vingt-deux années 1872-1893, 241 se sont rompus en service.

Sur 592 câbles plats, en acier, il s'en est rompu	40	=	6,76	p. 100
147	—	en fer	—	19 = 12,93
97	—	en aloès	—	7 = 7,22
8	—	en chanvre,	—	» = »
2.848 câbles ronds, en acier,	—	—	—	70 = 2,46
878	—	en fer,	—	105 = 11,96

Soit, sur 4.570 câbles de tous types, il s'en est rompu 241 = 5,27 p. 100

3° *Câbles rompus en service, chaque année.*

Les ruptures se répartissent comme suit, dans les années successives :

En 1872 sur 114 câbles retirés du service, avaient cassé	22	=	19,30	p. 100
1873	156	—	—	22 = 14,10
1874	198	—	—	19 = 9,60
1875	228	—	—	19 = 8,41
1876	217	—	—	15 = 6,91
1877	178	—	—	16 = 8,99
1878	202	—	—	19 = 9,41
1879	172	—	—	9 = 5,23
1880	170	—	—	8 = 4,71
1881	165	—	—	8 = 4,85
1882	194	—	—	15 = 7,73
1883	187	—	—	8 = 4,28
1884	190	—	—	6 = 3,16
1885	231	—	—	7 = 3,03
1886	204	—	—	5 = 2,45
1887	201	—	—	3 = 1,49
1888	249	—	—	9 = 3,61
1889	239	—	—	6 = 2,51
1890	246	—	—	5 = 2,03
1891	284	—	—	12 = 4,23
1892	264	—	—	5 = 1,89
1893	283	—	—	3 = 1,06

4° Ruptures en 1893.

En 1893, sur 283 câbles d'extraction retirés, trois ont cassé en service (tous les trois assez près de la benne).

	MATIERE constitutive du câble	FABRICANTS	MINES et puits	NOMBRE de jours de service	SERVICE estimé en millions de tonnes
Câble plat.	Acier fondu dur.	W. H. Grillo, à Düsseldorf.	Neu-Essen (Heinrich).	480	14,53
Câble rond.	Acier spécial breveté.	Felten et Guillaume, à Mülheim.	Carolus- Magnus II.	501	46,30
Câble rond.	Acier doux au creuset.	Gessmann, à Herne.	Hugo I.	383	84,72

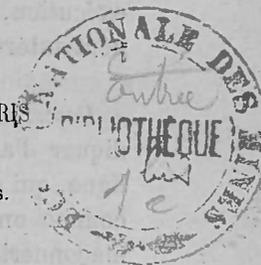
(Extrait de la Circulaire n° 1123 du Comité central des houillères de France.)

CONSOLIDATION DES CARRIÈRES SOUTERRAINES

SOUS LE PROLONGEMENT

DU CHEMIN DE FER DE SCEAUX DANS PARIS

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



Le 1^{er} avril 1895, la Compagnie du chemin de fer d'Orléans a livré à l'exploitation le prolongement de la ligne de Limours et de Sceaux dans Paris jusqu'au carrefour de Médicis, sous lequel est située la gare terminus.

La nouvelle ligne se détache de l'ancienne aux approches et à l'ouest de l'ancienne gare, présentement dénommée gare Denfert, traverse la place Denfert-Rochereau, suit la rue du même nom, une partie de l'avenue de l'Observatoire et le boulevard Saint-Michel. Elle est souterraine sur presque toute sa longueur. Les seules parties à ciel ouvert sont à la traversée du square de la place Denfert et du terre-plein de l'avenue de l'Observatoire où est établie la gare de Port-Royal.

Sous plus de moitié de ce parcours existent d'anciennes carrières souterraines de pierre à bâtir, appartenant à l'étage du calcaire grossier, qu'il a fallu consolider pour assurer la stabilité du tunnel et des voies ferrées.

Nous nous proposons de donner un aperçu succinct des travaux qui ont été exécutés dans ce but sous notre

direction, de février 1892 à mai 1893, avec le concours de M. l'ingénieur des mines Humbert et d'une partie du personnel de l'Inspection générale des carrières de la Seine. Ces travaux, d'une nature toute spéciale, présentent, en effet, sous le rapport de leur tracé et de leur exécution, certaines particularités dont la connaissance peut intéresser les ingénieurs.

Description générale de la ligne. — Il convient d'indiquer d'abord le mode de construction de la nouvelle ligne, qui est souterraine sur presque toute sa longueur, comme on vient de le mentionner. Deux piédroits en maçonnerie, dont la distance est de 9 mètres en voie courante et de 16 à 17 mètres dans les deux stations, supportent une voûte en maçonnerie dont l'extrados, couvert par une chape en asphalte, est à une faible distance du sol. Des tabliers métalliques remplacent la voûte sur les points seulement où la hauteur était insuffisante.

La hauteur libre est de 6 mètres sous clef dans les parties voûtées.

Le radier en maçonnerie, prévu au plan primitif a été supprimé, en raison de la compacité du terrain, sauf sur un parcours de 300 mètres environ à la traversée de bancs argileux imprégnés d'eau. Un petit aqueduc central recueille les eaux d'infiltration et les déverse dans des puits absorbants descendant jusqu'au niveau de la nappe d'eau de la Seine.

En voie courante, les piédroits ont 1^m,40 d'épaisseur; ils s'élargissent par le bas, jusqu'à 1^m,56, et reposent sur une assise de 0^m,70 d'épaisseur, qui forme un empalement de 0^m,44 vers l'intérieur du tunnel, de sorte que la largeur de leur base atteint exactement 2 mètres. La voûte a 0^m,65 à la clef. Le tout est en meulière brute avec mortier de ciment de Portland.

A la gare du Luxembourg, la voûte fortement surbaissée, a 16^m,80 d'ouverture, et l'épaisseur des piédroits a été portée à 3 mètres. Là d'ailleurs le terrain n'est pas miné.

La ligne monte graduellement de cette gare à la gare Denfert (ancienne gare de Sceaux) : les déclivités sont de 3 à 4 millimètres à la traversée des stations, de 16 millimètres en voie courante, et de 21 millimètres, à partir de la place Denfert, pour se raccorder avec l'ancienne ligne.

Développement des carrières souterraines. — Dans ce parcours, les carrières souterraines de pierre à bâtir ouvertes dans le calcaire grossier occupent trois régions distinctes, séparées par deux grands massifs intacts. Leur développement, dans l'axe du chemin de fer, est le suivant :

1^{re} SECTION. — *Boulevard Saint-Michel.*

Du n° 64 (petite cour de l'École nationale supérieure des mines)
au n° 74, au delà de la rue Herschell 234 mètres

2^e SECTION. — *Terre-plein de l'Observatoire.*

Du n° 32 au n° 43 de l'avenue de l'Observatoire. 131 —

3^e SECTION. — a) *Rue Denfert.*

De l'Hospice des enfants assistés à la place Denfert. 306 —

b) *Place et square Denfert,*

De la place Denfert (tête du tunnel) jusqu'à l'ancienne gare au droit
de l'avenue Montsouris n° 4 205 —

Longueur consolidée dans l'axe des voies ferrées. 876 mètres.

A la longueur ci-dessus il convient d'ajouter, dans la première section, des consolidations exécutées sur 43 mètres de longueur, non dans l'axe, mais sur le côté de la ligne, du n° 77 au n° 83 du boulevard Saint-Michel.

De plus, dans la troisième section, un second étage

de carrière a été reconnu, au cours des travaux souterrains, sous la rue Denfert, du n° 100 au n° 108, sur une longueur de 60 mètres (*).

Coupes du terrain. — Afin de donner une juste idée de la profondeur à laquelle règnent les carrières, de la hauteur des anciennes galeries d'exploitation, de la compacité et aussi de la composition, médiocrement variable, du terrain qui les recouvre dans cette région de Paris, nous reproduisons la coupe détaillée des couches traversées par un puits de service dans chacune des trois sections.

1° Boulevard Saint-Michel, à l'angle de la rue Auguste-Comte.

mèt.		mèt.	
Remblais	4,00	Report	12,55
Terre végétale	0,90	Caillasse	0,25
Marne	3,00	Marne	0,70
Caillasse	0,35	Caillasse	0,20
Marne	1,00	Marne	0,30
Caillasse	0,25	Caillasse	0,60
Marne	0,90	Marne	0,40
Caillasse	0,40	Roche du calcaire grossier	0,60
Marne	1,10	Banc franc de calcaire grossier	0,80
Caillasse	0,25	Remblais de carrière	2,00
Marne	0,40		
A reporter	12,55	Sol de carrière à la profondeur de	18,40

(*) D'anciennes carrières souterraines de calcaire grossier existent sous Paris : 1° sur la rive gauche de la Seine, dans les 5°, 6°, 13°, 14° et 15° arrondissements; 2° sur la rive droite, dans les 12°, 16° et (sur une faible étendue) dans le 8° arrondissement. Des carrières souterraines de pierre à plâtre règnent dans les 18°, 19° et 20° arrondissements, également sur la rive droite.

D'après la dernière statistique que nous avons dressée à ce sujet, la superficie des régions reconnues sous-minées s'élève à 771 hectares. La superficie totale de Paris étant de 7.802 hectares, la proportion est d'environ 10 p. 100. Le réseau des galeries souterraines dans lesquelles on peut circuler embrasse 129 kilomètres.

2° Avenue de l'Observatoire, à 47 mètres au sud du boulevard Montparnasse.

mèt.		mèt.	
Remblais	4,40	Report	19,15
Terre végétale	0,80	Caillasse	0,85
Argile	2,90	Marne	0,90
Marne	1,10	Caillasse	0,35
Caillasse	0,80	Marne	0,40
Marne	2,80	Caillasse	0,40
Grès	0,95	Marne	1,20
Marne	1,70	Caillasse	0,35
Caillasse	0,70	Marne	1,35
Marne	1,70	Caillasse	0,30
Caillasse	0,50	Roche du calcaire grossier	0,35
Marne	0,80	Remblais de carrière	1,20
A reporter	19,15	Sol de carrière à la profondeur de	26,80

3° Rue Denfert-Rochereau, devant le n° 87, à 90 mètres de la place Denfert.

mèt.		mèt.	
Terre végétale	1,40	Report	16,15
Sables de Beauchamp	2,40	Caillasse	1,00
Marne	2,40	Marne	0,30
Caillasse	0,30	Caillasse	0,30
Marne	2,30	Marne	0,30
Caillasse	0,50	Caillasse	1,70
Marne	1,00	Marne	0,90
Caillasse	0,30	Roche du calcaire grossier	0,60
Marne	2,20	Banc franc du calcaire grossier	0,80
Caillasse	0,35	Remblai de carrière	1,60
Marne	3,00		
A reporter	16,15	Sol de carrière à la profondeur de	23,65

Ce dernier puits est situé à 3 mètres de distance de la limite de la carrière inférieure qui existe dans cette région.

La hauteur du deuxième étage d'exploitation est en moyenne de 3^m,20; elle va sur certains points jusqu'à 3^m,85. Le banc vert qui sépare les deux étages mesure moyennement 1^m,25 d'épaisseur.

Nivellement du calcaire grossier. — Le calcaire grossier, comme on le sait d'après de nombreux sondages,

dont le relevé a été opéré notamment par Delesse, ne forme pas des bancs tout à fait horizontaux. Depuis le sud de Paris il plonge vers le nord jusqu'à Saint-Denis, pour se relever ensuite. Dans l'intervalle il affecte quelques ondulations.

Nous avons publié, en 1889, une coupe géologique du bassin de Paris (*) allant du plateau de Meudon à l'Observatoire et de l'Observatoire au moulin de Pierrefitte. L'allure du calcaire grossier y a été tracée au moyen de divers documents en notre possession. Les puits ouverts pour consolider le sous-sol du chemin de fer de Sceaux prolongé dans Paris ont confirmé l'existence, au voisinage de l'Observatoire, d'une cuvette qui est figurée sur cette coupe.

Le calcaire grossier proprement dit commence, au-dessous des caillasses, par une roche coquillière contenant des Cérithes en abondance et dont la continuité est parfaite. C'est à la partie supérieure de ce banc, qui forme ordinairement le ciel des carrières de l'étage supérieur, que se rapportent les cotes de nivellement du calcaire grossier relevées dans les puits dont il s'agit.

Depuis le puits de service percé au débouché de l'avenue de Montsouris sur la place Denfert, où la roche a été rencontrée à la cote 46^m,31 au-dessus du niveau de la mer, les bancs calcaires s'inclinent vers le nord assez régulièrement jusque devant l'hospice des Enfants assistés où la roche se trouve à la cote 36^m,10. Ils continuent à plonger dans la même direction, lorsqu'on suit la façade du même hospice sous la rue Denfert, jusqu'à ce que la roche descende à la cote 31 mètres. La même cote

(*) *Plan d'ensemble des carrières souterraines de Paris et du département de la Seine, dressé sous la direction de M. O. Keller, ingénieur en chef des mines, inspecteur général des carrières de la Seine, en 1889.*

se retrouve à la traversée de cette rue par l'avenue de l'Observatoire. De là, les bancs souterrains se poursuivent à peu près horizontalement jusqu'à la rue Michelet. Le calcaire se relève, à partir de ce point, jusqu'à la cote 38^m,9 qu'on trouve entre le débouché des rues Herschell et Auguste-Comte. Il s'incline ensuite assez rapidement sous le boulevard Saint-Michel, devant l'École des mines, et l'on constate que le dessus de la roche est à la cote 36 au droit du pavillon nord de cette École.

Dans aucun des puits qui ont été foncés pour les besoins des travaux de consolidation, on n'a rencontré de nappe aquifère.

État des carrières; anciennes consolidations. — La carrière inférieure a été exploitée par l'ancienne méthode des piliers tournés : en général les piliers ont de 4 à 6 mètres de côté; ils présentent en moyenne 24 mètres carrés de section. Ils sont fendus et écrasés dans le sens vertical, mais non détruits.

La carrière supérieure a été complètement défilée dans les deuxième et troisième sections. Le terrain est supporté par des remblais, plus ou moins comprimés, provenant exclusivement de la recoupe des pierres, mis en place par les anciens carriers, et par les *piliers à bras* et les *hagues* construits lors de l'exploitation. Il en est de même dans la première section où l'on rencontre cependant quelques *étaux de masse*. Malgré le comblement partiel de la carrière, le terrain supérieur présente un défaut de stabilité, sensible surtout pour les constructions en maçonnerie, par suite du tassement imparfait des remblais, des vides laissés au milieu d'eux par les carriers, des affaissements anciens et des *cloches de fontis* (*). Ces dernières ont été trouvées, au cours des

(*) Nous avons donné à cet égard des indications détaillées dans une *Notice sur la consolidation des carrières souterraines*

travaux, en nombre inusité dans la troisième section, comme on le verra plus loin.

Les carrières de l'étage supérieur étaient partiellement connues et mêmes accessibles soit sous l'emprise du tunnel projeté, soit dans son voisinage, grâce aux travaux autrefois exécutés par l'Inspection générale des Carrières de la Seine pour consolider les voies publiques. Toutefois, ces travaux étaient sommaires.

Dans la première section, on avait exécuté sous l'ancienne rue Denfert, en 1781 et en 1809, deux courtes galeries d'inspection, maçonnées, au droit du corps du bâtiment méridional de l'École des Mines, et beaucoup plus tard, en 1880, quelques piliers en maçonnerie dans la partie de carrière située sous des propriétés particulières, depuis longtemps expropriées pour l'élargissement de cette rue, à l'époque de l'ouverture du boulevard Saint-Michel. Les anciennes galeries d'exploitation, les *rues de carrière*, avaient été bourrées, c'est-à-dire remblayées avec des terres pilonnées sur place, et des tranches avaient été pratiquées en pleine masse, dans diverses directions, dans un but d'exploration.

La deuxième section ne comprenait d'autre ouvrage en maçonnerie qu'une galerie de circulation exécutée en 1883, pour relier celle du boulevard Montparnasse avec celle qui existe sous l'ancienne rue de Port-Royal et qui date de 1812. Les plans indiquaient de nombreuses *rues de carrières* bourrées et plusieurs fontis qui n'avaient été l'objet d'aucune consolidation.

Les carrières de la troisième section, beaucoup plus étendues, avaient été l'objet de divers travaux d'exploration et de consolidation, sous l'ancienne rue d'Enfer, de 1836 à 1845. Ils consistaient dans une galerie d'ins-

sous l'emplacement des réservoirs de Montrouge, publiée dans les *Annales des mines*, livr. de mars-avril 1877.

pection dont les parois étaient formées de moellons, tantôt posés à sec, tantôt hourdés en mortier, et dans le remblaiement, avec façon de hagues et bourrage, d'une partie des anciens vides. Des travaux analogues avaient eu lieu sous la place Denfert (principalement en 1837) et sous la place de la gare de Sceaux; quelques compléments avaient été apportés en 1848 sous cette dernière place et en 1879 sous la première.

Plusieurs cloches de fontis avaient été rencontrées lors de ces travaux, et les plans signalaient des points où le ciel de la carrière était complètement affaissé.

C'est dans une partie de la rue Denfert-Rochereau, comprise dans la troisième section, entre l'hospice des Enfants assistés et la place Denfert (anciennement route d'Orléans), qu'autrefois deux affaissements considérables du sol jetèrent l'alarme dans Paris. Le premier se produisit le 17 décembre 1774, au-dessus du double étage de carrières, défonça le sol profondément et provoqua l'interruption du passage sur cette grande route (*). Le second, qui eut lieu en 1777, non loin de là, détermina l'effondrement partiel d'une maison, située rue Denfert, dans une excavation produite par la venue à jour d'une cloche de fontis et à laquelle on a attribué plus de 20 mètres de profondeur (**).

Ces accidents sont survenus dans la région comprise entre les maisons actuelles de la rue Denfert-Rochereau portant les nos 89 à 97, devant lesquelles un affaissement général a pu être constaté souterrainement.

Somme toute, la situation des carrières était connue par les anciens travaux, sous l'emplacement du tunnel

(*) Hurlaut et Magny, *Dictionnaire historique de la ville de Paris et de ses environs*, t. II, p. 75-76.

(**) Guillaumot, *Mémoire sur les travaux exécutés dans les carrières sous Paris*; et Héricart de Thury, *Description des Catacombes*.

projeté, sur près de 900 mètres de longueur ; mais les travaux dont il s'agit se développaient en majeure partie en dehors de cet emplacement sous lequel il subsistait, en nombre, d'assez grands espaces où l'état des carrières était totalement inconnu. On avait à craindre d'y trouver des vides, des affaissements, des cloches de fontis, préjudiciables à la stabilité des terrains supérieurs.

D'autre part, le double étage d'exploitation n'était indiqué que sur un seul point dans l'*Atlas souterrain de Paris*, publié en 1859 par les soins de M. de Fourcy. On n'avait aucune donnée sur son étendue ni sur son état de conservation.

Programme des consolidations sous le chemin de fer.

— Dans ces conditions — et nous reviendrons plus loin sur ce sujet d'une façon générale — la consolidation systématique du sous-sol du tunnel projeté s'imposait d'une façon absolue. La Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans s'en était fort bien rendu compte. Dans les conférences tenues entre les divers services intéressés les 27 mai et 13 août 1891, préalablement à l'approbation du projet, elle offrit de faire exécuter cet important travail par l'Inspection générale des Carrières de la Seine. Nous acceptâmes, comme chef de ce service, et les membres des conférences donnèrent unanimement leur adhésion à cette convention, dont mention fut insérée dans les procès-verbaux officiels rédigés à cette occasion.

Le programme général que nous avons adopté pour les consolidations à faire dans l'étage supérieur peut se définir comme il suit.

Exécuter une galerie d'exploration sous l'emplacement des piédroits du souterrain.

A l'aide de cette galerie, établir sous chacun des pié-

droits un massif continu de maçonnerie de meulière, hourdée en mortier à chaux hydraulique, de 2 mètres d'épaisseur. Diviser d'ailleurs ce massif en deux parties, dans le sens de la longueur, de façon à ménager entre deux murs une galerie d'inspection de 1 mètre de largeur.

Relier les deux galeries longitudinales par un certain nombre de galeries transversales, à parois maçonnées.

Établir, dans les rues de carrières rencontrées, des murs ou des piliers de soutènement, sous le radier du tunnel, c'est-à-dire sous les voies ferrées. Achever de bourrer les vides avec des terres provenant des fouilles, à l'aide du pilon et de la barre, y compris la construction de hagues en pierres sèches, à distance normale de 1^m,50 les unes des autres.

Faire, en outre, quelques galeries de recherches sous l'axe du chemin de fer, dans les parties où un complément d'exploration se montrerait nécessaire et y construire des piliers de consolidation, de 1 mètre d'épaisseur, d'une longueur appropriée à l'état de la carrière.

Entourer les fontis de murs en maçonnerie et remplir les cloches soit par dessous avec des moellons, soit par dessus, c'est-à-dire au moyen de puits percés à la surface, avec des terres de remblai ou avec du béton, suivant le cas.

Ce programme, tracé *a priori*, a été suivi aussi fidèlement que possible. Il était admis d'avance que quelques modifications, notamment en ce qui touche l'épaisseur des maçonneries, seraient apportées en cours d'exécution, suivant l'état des carrières.

Description des travaux. — Dans la première section, la circulation se fait, sur une grande longueur, soit dans une ancienne galerie maçonnée, soit le long du front de masse, dans une rue de carrière dont la paroi opposée au

front a été maçonnée. Ailleurs on a ouvert, vers l'axe du tunnel, une galerie de 1 mètre de largeur, dont les parois comportent une épaisseur variable de 0^m,60 à 1 mètre. Étant donné cette disposition, commandée par l'état des lieux, on a construit sous chacun des piédroits du souterrain un mur plein de 1^m,40 d'épaisseur seulement.

En ce qui concerne la deuxième section, où se trouve la tranchée à ciel ouvert de la gare de Port-Royal, dans la partie comprise entre l'avenue de l'Observatoire et la rue Denfert, on a donné aux parois des galeries d'inspection 1^m,40 d'épaisseur, du côté de l'axe du chemin de fer et, par contre, 0^m,60 seulement du côté opposé ou extérieur.

Dans la région correspondant à la jonction des boulevards Montparnasse et du Port-Royal, les deux parois des galeries ont 1 mètre d'épaisseur. On y a rencontré, en pied, une roche très tendre, inconsistante, qu'il a paru prudent de recouper. Par suite, les fondations ont été descendues en moyenne à 2^m,15 de profondeur au-dessous du sol de la carrière. Pour diminuer le cube des maçonneries, on a creusé dans cette roche tendre des puits carrés de 1^m,20 de côté, qu'on a remplis en maçonnerie de meulière : ces piliers de fondation ont été reliés par des arceaux de 1^m,80 d'ouverture, en même maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur, montant jusqu'au ciel de carrière.

En raison de la grande largeur de la tranchée ouverte à la gare de Port-Royal, un mur de 1^m,20 d'épaisseur, pourvu de plusieurs rameaux transversaux, a été construit, sous l'axe du chemin de fer, sur 24^m,50 de longueur. Les remblais étaient d'ailleurs uniformément comprimés, de sorte qu'on a pu réduire à 0^m,60 l'épaisseur des parois des galeries transversales, dans cette section.

Trois fontis y ont été entourés souterrainement de

murs maçonnés. Ce travail une fois exécuté, il a suffi pour deux d'entre eux, dont les cloches atteignaient 6 mètres et 6^m,50 de hauteur respectivement, de les remplir avec des terres, au moyen de puits de 1^m,20 de diamètre creusés à cet effet à la surface du sol. Le troisième, d'une plus faible hauteur, a été rempli par dessous avec des moellons posés à sec.

Un affaissement a été également contourné; et l'on a consolidé le ciel de carrière par des maçonneries le long de la ligne de rupture.

La troisième section, beaucoup plus longue que les deux précédentes, se divise en deux parties. L'une comprend le tunnel sur 306 mètres de longueur, et l'autre, la tranchée à ciel ouvert, en courbe depuis la tête du tunnel jusqu'à la gare de Sceaux, sur 205 mètres de longueur.

Le type des consolidations y consiste dans une galerie de 1 mètre de largeur, régnant sous les piédroits du tunnel et sous les murs de la tranchée.

Dans la première partie où d'importants affaissements du ciel de carrière ont été reconnus, les parois de la galerie ont une épaisseur de 1^m,40 vers l'axe des voies et de 1 mètre vers l'extérieur du tunnel. Les consolidations sont complétées par des galeries transversales, avec parois de 1 mètre d'épaisseur, dont l'espacement variable est en moyenne d'environ 28 mètres, et par des piliers isolés, de 1 mètre à 1^m,20 de large sur 3 mètres de long, construits sous l'axe du tunnel.

Dans la seconde partie, les parois de la galerie construite sous les piédroits du tunnel ont 1 mètre d'épaisseur de chaque côté; les galeries transversales sont espacées de 40 mètres environ; des murs continus de 1 mètre jusqu'à 1^m,60 d'épaisseur ont été construits dans les nombreuses rues de carrière recoupées par les fouilles sous le chemin de fer.

C'est dans la première partie de la troisième section qu'on a reconnu, par des recherches appropriées, le second étage de carrière sur 60 mètres de longueur.

L'état de délabrement dans lequel on l'a trouvé a nécessité la construction de forts massifs de maçonnerie de meulière, notamment sous les piédroits du tunnel. Ces massifs ont été disposés de façon à contre-fortifier les piliers de carrière fendus, à soutenir les maçonneries exécutées dans l'étage supérieur, enfin à entourer le débord d'un fontis qui traversait les deux étages d'exploitation. Dans l'intervalle les vides ont été remblayés avec interposition de fortes hagues en moellons. Une galerie d'inspection, à laquelle on accède depuis l'étage supérieur par un escalier en pierre, y a été ménagée.

Des fontis ont été rencontrés, en nombre inusité, dans cette section, particulièrement sous la place Denfert, le square du même nom et la place située devant le bâtiment de la gare, à l'entrée de l'avenue de Montsouris. On en compte, en effet, dix-neuf; et il serait difficile d'en rencontrer davantage dans un périmètre aussi restreint, dans aucune autre région de Paris. La plupart sont placés sous l'emprise du chemin de fer, et les autres dans son voisinage immédiat. Les cloches avaient, en général, une hauteur de 5 à 6 mètres au-dessus du sol de la carrière. On en a trouvé quatre ayant 10^m,30, 10^m,50, 12 mètres et 15^m,30 de hauteur respectivement.

Trois fontis, dont les cloches devaient présenter des hauteurs plus grandes encore, sont venus à jour, en mars, mai et octobre 1892, avant l'exécution d'aucun travail de consolidation dans leur voisinage, sans occasionner d'accident.

Le terrain était donc ruiné; il avait d'ailleurs subi des affaissements en masse sur différents points. Devant les immeubles n^{os} 89 à 97 de la rue Denfert, on a reconnu

qu'un affaissement régnait sur 50 mètres de longueur : il comprenait, en dehors de la voie publique cette fois, sous l'immeuble n^o 89, un fontis porté sur l'atlas souterrain de Paris comme venu à jour en 1790.

Procédés de consolidation des cloches de fontis. — Les indications qui précèdent font pressentir combien les travaux d'exploration et de consolidation ont eu d'importance au point de vue des fontis. Nous entrerons dans quelques détails au sujet des ouvrages, de nature diverse, auxquels ces effondrements ont donné lieu.

Quand on se trouve en présence d'un fontis, il faut avant tout reconnaître, par des fouilles conduites avec autant de prudence que d'habileté, en s'aidant d'étais et de boisages convenables, l'étendue et la position de la cloche. S'il est possible de s'introduire dans cette dernière, on détermine sa hauteur et surtout le centre de la calotte. Ce point doit être reporté sur le plan souterrain avec exactitude, quand on peut y atteindre. Dans le cas contraire, on le détermine approximativement. On trace, à cet effet, sur le plan des travaux souterrains le contour généralement elliptique de la cloche, en le délimitant d'après les indications fournies par les fouilles d'exploration, et l'on considère le centre de la figure obtenue comme devant coïncider sensiblement avec le sommet cherché.

Ordinairement on comble la cloche de l'une des deux façons que nous allons indiquer, et l'on remblaie les fouilles d'exploration avec des terres pilonnées contenues par des murs à sec, en retirant les étais, au fur et à mesure, autant que la sécurité des ouvriers le permet.

Le comblement se fait par-dessous ou par-dessus, suivant qu'on peut, ou non, travailler sans danger dans la cavité. Dans le premier cas, on entasse sur les éboulis

des moellons posés à sec et disposés par gradins, jusqu'à remplissage parfait. L'étroite cheminée, longeant la paroi de la cloche et par laquelle l'ouvrier doit se retirer, est elle-même remplie de moellons, pour terminer. Dans le second cas, on perce un puits à la surface du sol, en un point très exactement repéré au-dessus de l'invisible cavité. L'ouvrier occupé à ce travail se suspend par une ceinture à une corde solidement fixée au jour, pour éviter tout accident, lorsqu'il approche du vide souterrain et que le fond de la fouille *sonne creux* sous son pic. La cloche une fois atteinte, on la remplit avec des terres apportées à cet effet. On doit les arroser, au fur et à mesure de leur projection, pour qu'elles se tassent le plus possible, et remplir de même le puits.

Tels sont les procédés en usage pour consolider les fontis sous les voies publiques de Paris. Ils suffisent pour empêcher une dépression ultérieure du sol, préjudiciable à la sécurité de la circulation.

Mais lorsque le terrain sous-miné doit recevoir des constructions importantes, nous sommes d'avis de proscrire le remplissage avec des terres, comme un procédé imparfait, et d'améliorer le système de consolidation, sans avoir égard au surcroît de dépense correspondant.

Il convient alors de faire une double opération, si l'on veut obtenir le résultat le meilleur possible.

La première consiste à entourer d'un anneau en maçonnerie le débord du fontis, de façon à soutenir les parties du ciel de la carrière qui avoisinent l'effondrement et qui ne sont pas encore trop disloquées. On consolide ainsi le terrain situé au pourtour du fontis, et il en a généralement besoin.

Le remplissage du fontis constitue la seconde opération.

Si l'on opère par-dessus, on se contente parfois de verser par le puits du béton semi-liquide sur les éboulis,

de façon à remplir leurs interstices et à les convertir en un bloc adhérent aux parois de la cloche; ensuite on remplit la calotte de la cloche et le puits lui-même avec du béton ordinaire. Toutefois, dans le cas où une maçonnerie doit être établie précisément au-dessus de la cloche, il est préférable de descendre le puits, en le blindant convenablement au travers des éboulis, jusqu'au sol même de la carrière et de le remplir entièrement de béton, de façon à constituer une colonne de soutènement.

S'il est possible d'opérer par dessous, — c'est le procédé le plus rapide et le meilleur — on obtient une consolidation parfaite en vidant la cloche entièrement, ce que l'anneau de maçonnerie préalablement construit sur son pourtour permet seul de faire sans trop de danger, et en la remplissant de maçonnerie hourdée en mortier hydraulique.

Nous avons introduit la première opération dans la pratique en 1873; auparavant le remplissage avec des moellons posés à sec ou avec des terres jetées par puits, était seul usité. Dans un terrain sec et compact, une cloche circonscrite à sa base par des murs en maçonnerie conserve indéfiniment son équilibre; elle ne peut prendre aucune extension latérale et sa hauteur n'augmente pas (*).

Enfin, quand on se trouve en présence d'un fontis venu à

(*) Les visiteurs des Catacombes de Paris suivent, en se dirigeant vers l'escalier de sortie, situé rue Dareau, une large galerie que nous avons exécutée en 1874 et où nous avons laissé visibles deux vastes cloches, complètement vidées, ayant respectivement 11 mètres et 11^m,30 de hauteur totale. Nous les avons d'abord entourées d'épaisses maçonneries à leur pourtour sous le ciel de carrière; puis nous avons garni les parois, préalablement nettoyées, d'une simple couche de ciment, de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, pour éviter la chute d'une parcelle solide quelconque sur la tête des promeneurs. Un arceau très léger complète la consolidation de la plus grande de ces cloches, dont l'aspect est aussi saisissant qu'instructif.

jour ou d'un affaissement du sol, il y a lieu, en raison de l'inconsistance du terrain, de faire reposer les constructions sur des arceaux en maçonnerie que supportent des colonnes de béton descendues sur le banc de pierre intact, au sol de la carrière.

Il a été fait application de ces divers procédés sous le prolongement du chemin de fer de Sceaux.

Tous les cas se sont en effet rencontrés dans les vingt-deux fontis et les quatre ou cinq grands affaissements qui ont été reconnus par les explorations souterraines auxquelles ce grand ouvrage a donné lieu.

La galerie d'inspection qui consolide les piédroits du tunnel et ceux des tranchées à ciel ouvert, passe sous plusieurs de ces fontis : la voûte dont on l'a revêtue, dans leur traversée, supporte les matériaux de remplissage de la cloche correspondante, meulière, moellons ou béton. Les procédés qu'on vient de décrire n'exigent, en effet, d'aucune façon, la déviation de la galerie.

Particularités concernant le mode d'exécution des travaux. — La conduite générale des travaux fournit matière à quelques indications spéciales. Trois entrepreneurs différents ont consolidé simultanément les trois sections. En dehors du puits de descente des ouvriers, muni d'une échelle verticale dite *à perroquet*, les chantiers de chaque section comprenaient un certain nombre de puits de service pour le montage des terres extraites de la carrière et pour la descente de la meulière, du mortier et des étais. Ces puits, de 1^m,50 de diamètre, ont été percés sur la voie publique, en dehors et à proximité de l'emprise du tunnel, au nombre de 5 dans la première section et de 7 dans la seconde.

Dans la troisième, comme les travaux à la surface relatifs à la construction du chemin de fer s'exécutaient concurremment avec les consolidations souterraines, il a

paru convenable, pour ne pas augmenter la gêne de la circulation des voitures et des piétons, déjà très grande, de ne pas échelonner les puits comme dans les deux autres sections. Le service des terres et des matériaux s'est fait au moyen de deux puits seulement, qu'on a ouverts aux deux extrémités opposées, l'un dans un terrain non bâti, loué à cet effet, dépendant de l'Hospice des Enfants assistés, en bordure de la rue Denfert; l'autre, au débouché de l'avenue de Montsouris sur la place Denfert, près de la gare.

L'entrepreneur, M. Lazies, a installé spontanément, à côté de chacun de ces deux puits, une locomobile actionnant une bobine d'extraction. Il a établi des voies ferrées, du système Decauville, dans les galeries longitudinales ouvertes en carrière, en les prolongeant à mesure de l'avancement de ces dernières; et a opéré sur ces voies le roulage des terres et celui des matériaux de consolidation, à l'aide de wagonnets d'un excellent modèle. La caisse en tôle, en forme de trémie, se sépare du chariot; elle est munie de crochets qui permettent, lorsqu'elle a été amenée sous le puits, de la suspendre au câble d'extraction, comme on fait pour les seaux ordinaires. Les terres contenues dans la trémie étaient élevées à une hauteur suffisante pour se déverser ensuite, sans autre manipulation, dans les tombereaux qui les transportaient aux lieux de décharge. La meulière et le mortier ont été descendus dans la carrière en échange des terres et transportés par voie ferrée soit jusqu'à leur lieu d'emploi, soit dans le voisinage.

Cette organisation du roulage, qui n'avait pas encore été réalisée dans les travaux de consolidation des carrières, a rendu des services. Mais il est bon de remarquer que les installations dont il s'agit sont assez coûteuses; on n'aurait pu opérer de la sorte économiquement si la section n'avait pas eu une grande longueur.

Une fraction importante des terres provenant des fouilles, au lieu d'être montée à la surface, a été transportée, par la voie Decauville, sous la gare Denfert. On s'en est servi pour remblayer des vides très étendus subsistant dans les deux étages d'une ancienne carrière, exploitée par la méthode des piliers tournés, qui s'étend sous cette gare; et l'on a complété ainsi, à peu de frais, les consolidations par piliers maçonnés déjà faites à diverses époques sous cet emplacement.

Maçonneries, consolidations accessoires, dépenses. — Les maçonneries ont été exécutées généralement en meulières provenant des carrières de la vallée de l'Yvette, transportées par voie ferrée à la gare Denfert. Le mortier était composé de 350 kilogrammes de chaux hydraulique en poudre par mètre cube de sable.

On n'a employé des moellons à cet usage que d'une façon accessoire, et seulement pour utiliser ceux que fournissaient les fouilles, principalement la démolition de hagues et de piliers à bras.

La maçonnerie de meulières est presque aussi économique que celle de moellons fournis. Elle a l'avantage de présenter une résistance à l'écrasement bien supérieure. En outre, la meulière se prête beaucoup mieux que le moellon au calage des piliers sous le ciel de carrière, calage qui doit toujours être pratiqué aussi exactement que possible.

Le prix du mètre cube de maçonnerie a été de 21 francs, en tenant compte du rabais consenti par les adjudicataires. Conformément à une clause insérée dans la série spéciale, ce prix comprend toutes les sujétions résultant de l'exécution des maçonneries en souterrain, par petites parties, des difficultés d'accès, de la hauteur réduite des galeries, de l'embaras des étais, de la présence de l'eau, de la difficulté d'approvisionnement des matériaux et aussi

toutes mains-d'œuvre complémentaires pour dépôt provisoire des matériaux, leur reprise et transport à la surface, quelles que soient les difficultés d'accès et quel que soit le mode de transport, tombereau, brouette ou seau, les reprises en sous-œuvre, les échafaudages, engins de toute sorte et tous frais et faux frais, y compris l'éclairage.

Le cube des maçonneries a formé un total de 7.636 mètres, dont 6.844 mètres cubes en meulière et 792 en moellons non fournis. La consolidation de la carrière inférieure a nécessité 1.306 mètres cubes de maçonnerie, compris dans le total précédent.

Ce cube important s'applique aux consolidations exécutées sous l'emprise du chemin de fer et aussi dans son voisinage. La Compagnie d'Orléans n'a pas hésité, en effet, à prendre à sa charge l'exécution sous les voies publiques de piliers complémentaires destinés à combattre tout ébranlement du sol pouvant résulter de la circulation des trains.

C'est ainsi que 24 piliers de 3 mètres de longueur en moyenne et de 1 mètre d'épaisseur ont été exécutés devant la façade des maisons n^{os} 107 à 119 du boulevard Saint-Michel. Un mur de soutènement a été construit sur 35 mètres de longueur au débord du grand affaissement qui s'est produit en 1880 devant le n^o 81, à la suite de la rupture d'un égout dont les eaux s'étaient déversées dans le sous-sol pendant un violent orage. Sous le terre-plein de l'Observatoire, on a construit de même, en dehors du tracé, une quinzaine de piliers de 1 mètre à 1^m,40 d'épaisseur et d'une longueur de 5 mètres en moyenne, sans compter un mur longeant un affaissement sur 23 mètres de longueur.

Les chiffres donnés ne comprennent pas la consolidation du sous-sol d'une usine d'électricité qui a été construite dans les dépendances de la gare Denfert.

En laissant de côté ce dernier travail, les mémoires de dépenses, arrêtés par nous, se sont élevés au total de 490.867 francs (*). Cette somme divisée par le nombre de mètres cubes de maçonneries souterraines donne un quotient de 64',28.

Absence d'accidents.— Les travaux ont été conduits et surveillés par MM. Fagot, contrôleur principal des mines, et Viro, piqueur principal du service des carrières, placés sous les ordres de M. l'ingénieur des mines Humbert. Pour le contrôle de l'exécution des ouvrages il leur a été adjoint, sur notre demande, des surveillants fournis par la Compagnie d'Orléans.

Malgré la difficulté des travaux, en particulier de ceux qu'ont nécessités les nombreux fontis rencontrés dans les carrières, on n'a eu à déplorer aucun accident (**).

Cet heureux résultat est dû, en grande partie, à l'expérience consommée des agents dont nous venons de citer les noms et aux bonnes dispositions prises dans les chantiers par les entrepreneurs, notamment en ce qui concerne l'étalement du ciel de carrière, partout où il menaçait ruine.

Notions générales sur les conditions à remplir pour assurer la stabilité des terrains sous-minés. — Nous ter-

(*) Ce total n'est pas définitif, en raison d'un litige pendant entre l'un des entrepreneurs et la Compagnie d'Orléans.

(**) La Compagnie d'Orléans s'est félicitée avec raison, dans une *Note sur l'exécution des travaux*, publiée par le service de la voie, au moment de l'ouverture de la nouvelle ligne, d'avoir eu seulement douze accidents graves à déplorer sur les chantiers de ses entrepreneurs : deux ouvriers ont été tués en tombant dans les fouilles et dix autres ont subi des fractures ou des contusions sérieuses, sans parler de trente-cinq cas de blessures très légères entraînant une interruption de travail de quelques jours au plus.

minerons en résumant les procédés généraux de consolidation du sous-sol parisien.

Il en est deux, dont l'importance varie suivant les cas, et qu'on emploie en général concurremment.

Le premier, au sujet duquel nous sommes entré déjà dans des détails circonstanciés, comprend la recherche et le remplissage des vides et des fontis.

Le second consiste à soutenir par des piliers le ciel de la carrière partout où ce dernier n'est pas perforé, de façon à empêcher la production d'un affaissement général ou même d'un tassement appréciable du terrain supérieur, afin d'assurer la conservation des constructions.

Le problème est de déterminer la superficie que ces piliers doivent occuper par rapport à l'étendue de l'exploitation. Il comporte une étude particulière.

Dans la *Notice* précédemment mentionnée, publiée en 1877 à la suite des travaux que nous avons exécutés pour consolider les carrières sous l'emplacement des réservoirs des eaux de la Vanne, à Montrouge, nous avons posé en principe que, toutes les fois que les fouilles occupent une assez grande étendue, le ciel de carrière supporte intégralement le poids du terrain de recouvrement et celui des édifices construits à la surface. D'où nous avons déduit cette conséquence : les piliers naturels ou artificiels de la carrière, pour que l'équilibre du sol soit parfaitement assuré, doivent avoir des dimensions suffisantes pour résister à la charge ainsi définie, concurremment avec les matériaux de remblai, s'il en existe.

« Ce serait une pure illusion, écrivions-nous, de croire que ce poids (de l'édifice) n'est transmis en profondeur que partiellement par le terrain supérieur à la carrière, par exemple lorsque ce terrain a une épaisseur de 20 à 30 mètres. Dans tous les cas où l'étendue de la superficie souterraine à consolider est notable par rapport à l'épaisseur du terrain de recouvrement, le ciel de la carrière,

considéré dans son ensemble, supporte réellement le poids des constructions élevées à la surface. Il n'y a de réduction de la charge que dans une zone relativement resserrée, située au pourtour de l'ouvrage et correspondant aux points où les couches dont le terrain est formé s'infléchissent légèrement avant de se comprimer sous les fondations de l'édifice. En ces points, une partie du poids de la construction se transforme en efforts de traction tendant à rompre la continuité des couches et à disloquer le terrain... Ce que nous venons de dire du poids de l'édifice s'applique aussi au poids du terrain : ce poids est supporté intégralement par le ciel de la carrière. »

Ce principe a été admis par M. Tournaire, inspecteur général des mines, quelques années plus tard, et présenté par lui sous les formes de calculs élémentaires (*).

Enfin il a reçu la consécration administrative dans la circulaire ministérielle du 10 juin 1886, conformément à l'avis du Conseil général des mines qui était appelé à examiner les mesures propres à prévenir le retour de catastrophes analogues à l'effondrement général des carrières souterraines de Chancelade (Dordogne). Les piliers doivent être assez forts « pour que leur résistance à l'écrasement excède sûrement le poids du terrain situé au-dessus des vides. » Telle est la solution, rationnelle et fort simple, d'une question assez complexe qui était autrefois enveloppée d'une grande obscurité. La plupart des exploitants sont dans la persuasion que les effondrements sont d'autant moins à redouter que les fouilles sont plus profondes : ce n'est exact que dans le cas d'excavations peu étendues (**).

La règle établie par la circulaire ministérielle du

(*) Tournaire, *Des dimensions à donner aux piliers des carrières et des pressions auxquelles les terrains sont soumis dans les profondeurs* (Annales des mines, t. V, 3^e livr. de 1884).

(**) Nous avons eu l'occasion de vérifier la justesse de nos

10 juin 1886 trouve son application dans les carrières exploitées par la méthode des piliers réservés, et permet de calculer aisément l'importance des ouvrages de consolidation nécessaires pour assurer la fixité du sol.

Elle sert encore de guide s'il s'agit des carrières entièrement défilées. On constate que l'exploitation de ces dernières a été accompagnée ou suivie, presque partout, d'un affaissement général du sol. Le ciel, se brisant en divers sens, est descendu sur les remblais. Ceux-ci se sont comprimés sous le poids du terrain de recouvrement et en proportion de ce poids. L'expérience montre que néanmoins ils sont loin d'offrir la résistance d'un terrain naturel, par exemple d'une couche de marne, et sont tout à fait impropres à recevoir directement les fondations de n'importe quel ouvrage en maçonnerie. De plus, comme les ouvriers carriers n'ont pas toujours eu le soin de remblayer les chantiers d'exploitation jusqu'au ciel, il existe des régions où, malgré la descente des

précédentes observations dans une grande carrière de craie, exploitée souterrainement à Bougival (Seine-et-Oise). Une série d'expériences auxquelles nous avons procédé, nous avaient démontré que la craie constituant les piliers est complètement saturée d'eau par l'effet de l'humidité constante du sous-sol, et que la résistance à l'écrasement de cette substance éprouve, de ce chef, un affaiblissement des trois quarts. Nous avons jugé prudent en conséquence de provoquer par un arrêté préfectoral l'évacuation et la fermeture complète de cette carrière. Un certain temps après, le 3 décembre 1891 et le 17 mars 1892, celle-ci s'est effondrée subitement et en masse, dans deux vastes régions indépendantes, sans occasionner d'accident de personnes. Les piliers se sont écrasés exactement sous la charge du terrain de recouvrement, conformément aux prévisions révélées par le calcul, malgré leurs grandes dimensions et la parfaite régularité du tracé des galeries. Nous avons été conduit à une vérification analogue, en étudiant rétrospectivement les conditions dans lesquelles se sont produits des effondrements plus anciens dans les crayères souterraines des Moulinaux (Seine). L'expérience a confirmé pleinement les indications de la théorie.

couches supérieures, les remblais ne sont pas tassés ou ne le sont qu'imparfaitement. Enfin on a toujours à craindre que leur compression ne s'accroisse encore par l'effet du temps, ce qui déterminerait des mouvements ultérieurs du sol. Les infiltrations d'eau inopinées sont particulièrement à redouter, parce qu'elles provoquent le tassement immédiat des terres mouillées.

Les remblais de carrière sont donc insuffisants pour assurer la complète stabilité du terrain supérieur; mais cependant on doit tenir compte de leur présence. On serait conduit à des dépenses excessives, si l'on en faisait abstraction dans la détermination des ouvrages de consolidation.

Revenons au prolongement souterrain du chemin de fer de Sceaux. Le tunnel et les tranchées qu'a exécutés la Compagnie d'Orléans ont évidé le terrain de recouvrement des carrières et soulagé les remblais qui s'y trouvent, sous le radier ou sous le ballast des voies ferrées.

Par suite, les piliers en maçonnerie qui constituent les consolidations proprement dites ont pu être réduits, en quelque sorte, à un *minimum* déterminé par la pratique, dans la partie comprise entre les piédroits.

Ce sont ces derniers qu'on s'est attaché à faire reposer sur une base d'une stabilité parfaite. On a donc enlevé les remblais sous-jacents et on les a remplacés par les massifs de maçonnerie dont la description a été donnée dans cette notice.

Comparaison entre les consolidations exécutées sous le prolongement du chemin de fer de Sceaux et sous le chemin de fer de Ceinture (rive gauche). — Il existe à Paris un seul exemple d'un travail analogue à celui dont nous nous occupons; nous voulons parler des consolidations exécutées vers 1862 sous le chemin de

fer de Ceinture (rive gauche) entre la porte de Vaugirard et le parc de Montsouris. Comme sur la ligne de Sceaux prolongée dans Paris, les trains circulent sur ce parcours tantôt dans des tunnels, tantôt dans des tranchées profondes, au-dessus d'anciennes carrières souterraines abandonnées.

Le système de consolidation appliqué au chemin de fer de Ceinture présente une grande analogie avec celui qui vient d'être décrit. Toutefois les mêmes difficultés ne se sont pas présentées dans l'exécution, sous le rapport des fontis, les carrières étant en bon état de conservation dans la région dont il s'agit.

Le type des maçonneries exécutées en moellons sous les piédroits consiste en un massif de 3 mètres d'épaisseur moyenne, en majeure partie découpé sous forme de redans et accosté d'une galerie de circulation dont la paroi, du côté opposé à l'axe du chemin de fer, a 1 mètre d'épaisseur. La surface maçonnée présente en conséquence 4 mètres carrés par mètre courant de piédroit.

On a vu précédemment que, sous le prolongement de la ligne de Sceaux, la dimension transversale des maçonneries sous chaque piédroit varie de 1^m,40 (1^{re} section) à 2^m,40 (1^{re} partie de la 3^e section), et atteint généralement 2 mètres. Telle est l'épaisseur moyenne des massifs de consolidation, divisés le plus souvent en deux parties par une galerie.

Dans ce dernier ouvrage, le mètre courant de piédroit ne comporte donc en carrière que 2 mètres carrés de surface maçonnée, au lieu de 4 mètres carrés.

Cette importante réduction, si favorable au point de vue de l'économie, a pu être obtenue sans aucun inconvénient pour la stabilité du chemin de fer. S'il nous a été permis de la réaliser, c'est, d'une part, grâce à la substitution de la meulière au moellon dans les piliers

de consolidation, et d'autre part, en raison des progrès accomplis depuis un certain nombre d'années dans la connaissance des pressions auxquelles sont soumis les terrains excavés.

APPLICATION
DE LA
MÉTALLOGRAPHIE MICROSCOPIQUE

A LA FABRICATION DES RAILS

d'après un travail de M. ALB. SAUVEUR (*),
Ingénieur aux aciéries de l'Illinois.

Par M. F. OSMOND.

La nouvelle science qui a pour objet l'étude micrographique des métaux, a été créée en Angleterre par le Dr Sorby et, en Allemagne, par le professeur Martens. Les premières études que M. Werth et moi, ignorants alors des travaux étrangers, ayons faites en France dans la même direction, ont été accueillies par les *Annales des mines* (**) en 1885. Depuis cette époque, les recherches ont été activement poursuivies de plusieurs côtés; elles ont naturellement étendu et précisé nos connaissances; elles se sont fait une place dans les usines et, au dernier Congrès des Mines et de la Métallurgie à Chicago, en 1893, on a pu voir se rencontrer trois communications sur le même sujet, parties de trois pays différents.

L'une de ces communications, due à M. Alb. Sauveur, ingénieur des aciéries de l'Illinois, présentait ce caracté-

(*) Microstructure of steel (*Trans. of the Amer. Inst. of Min. Eng.*, t. XXII, p. 546-557, Pl. I-V.)

(**) 8^e série, t. VIII, p. 5.

rière particulier qu'elle donnait l'exemple d'une application régulière de la micrographie à la conduite d'une fabrication industrielle. C'était là une nouveauté, non pour les métallurgistes qui avaient fait eux-mêmes usage de la méthode et en connaissaient les ressources, mais pour ceux, beaucoup plus nombreux, qui la regardaient encore comme une curiosité de laboratoire.

M. Clérault, ingénieur en chef des mines, a été frappé de l'intérêt que présentait cette note pour les Compagnies de chemins de fer, et a bien voulu nous engager à en donner ici une traduction libre, avec les explications qui pouvaient en rendre la lecture plus facile aux non-initiés.

Il faut rappeler d'abord que l'acier, malgré le nom qu'on lui a souvent donné de confiance, n'est nullement un métal homogène. Les investigations microscopiques, aidées de l'analyse chimique immédiate, ont conduit à distinguer, dans les aciers ordinaires au carbone refroidis lentement, trois éléments au moins de structure :

1° Du fer pratiquement pur ;

2° Un carbure dur de formule probable Fe^3C ;

3° Un mélange, le plus souvent lamellaire, quelquefois granulaire ou vermiculé, de parties dures et douces que le microscope ne résout que sous de forts grossissements (500 diamètres environ).

Ces trois constituants ont reçu des noms divers, notamment ceux de *Ferrite*, de *Cémentite* et de *Perlite*, proposés par M. Howe et qui sont aujourd'hui d'un usage courant.

La Ferrite est le fer pratiquement pur considéré comme élément de structure.

La Cémentite est le carbure Fe^3C , ainsi appelé parce qu'il forme dans les aciers de cémentation des lamelles de grandes dimensions relatives, qu'il est facile de voir et d'isoler ; c'est le *ciment* de la *Théorie cellulaire*.

La Perlite doit son nom à l'aspect irisé qu'elle peut prendre, sous un éclairage oblique, quand les éléments

différents dont elle se compose ont été creusés, par le polissage ou l'attaque, à des profondeurs inégales qui déterminent une décomposition de la lumière réfléchie.

Si l'on attaque une plaquette d'acier préalablement polie, soit par une ou deux immersions instantanées dans l'acide azotique à 36° Baumé, soit par un séjour de quelques secondes dans le même acide étendu de quatre fois son volume d'eau, la Ferrite garde, *sous un éclairage perpendiculaire*, sa couleur blanche et son aspect métallique ; la Perlite, dans son ensemble et dans les mêmes conditions, se colore en noir, pourvu qu'on l'examine à un grossissement modéré, (soit environ 50 diamètres), qui ne permette pas de la résoudre en ses éléments. Quant à la Cémentite, divisée dans la Perlite en feuilles extrêmement minces, les mêmes grossissements ne la laissent généralement pas discerner dans les aciers fondus et forgés.

Dans les aciers très doux, la Perlite forme des grains ou des filaments (*fig. 1* ci-contre et *fig. 23*, Pl. II) qui sont interposés entre les grains polyédriques de la Ferrite (non tracés sur la *fig. 1*) et dessinent, entre ces

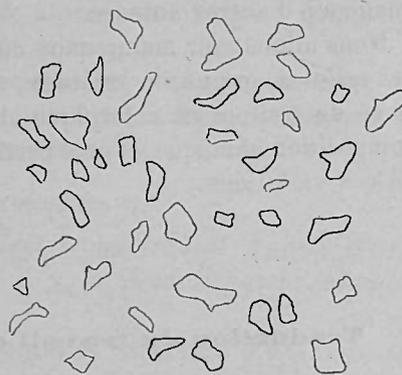


Fig. 1. (Gr. = 225 D.)

grains, un réseau discontinu fermé par les joints.

Dans les aciers de moyenne dureté refroidis lentement, tels qu'ils sont employés pour rails et les seuls dont nous ayons à nous occuper dans cette note, si le laminage a été terminé vers le rouge un peu sombre, la Ferrite et la Perlite s'entremêlent à la façon des vermiculures. Mais, si la température à la fin du laminage était plus

élevée, la Perlite se rassemble en noyaux que la Ferrite enveloppe d'un réseau continu. L'ensemble du noyau et de son enveloppe constitue la *cellule composée de deuxième ordre* de la *Théorie cellulaire*. M. Sauveur l'appelle *grain* ou *cristal* indifféremment. Le mot *cristal* est discutable, en ce sens qu'il ne s'agit pas ici de cristaux proprement dits, mais de polyèdres pseudo-cristallins qui peuvent d'ailleurs être attribués, du moins pour une part, à la limitation mutuelle de véritables développements cristallins en voie de croissance aux températures élevées, le fer se trouvant alors sous une forme moléculaire qu'il ne conserve pas pendant le refroidissement lent. Mais, sous la réserve de ces explications, on pourra conserver les termes *cristaux* et *cristallisation*, qui ont été employés dans le même sens par Tchernoff et par beaucoup d'autres auteurs.

Nous allons voir maintenant comment les dimensions des cellules, grains ou cristaux, varient avec les conditions du traitement calorifique des aciers et avec leur composition chimique, et quel parti on peut tirer de l'étude de ces variations.

Traduction du travail de M. Sauveur.

I. — CRISTALLISATION DE L'ACIER.

Les propositions suivantes et leurs corollaires ont pour objet de résumer, aussi brièvement que possible, les renseignements fournis par l'étude de la microstructure de l'acier.

Chaque proposition est appuyée sur les micro-photo-

grammes qui montrent la structure des échantillons pris comme exemples. Mais il doit être entendu que ces exemples particuliers choisis pour la démonstration ne sont nullement les seuls sur lesquels soient fondées les propositions générales; ils ont été pris, presque au hasard, parmi beaucoup d'autres semblables, quelquefois plus d'une centaine.

Proposition I.

Un refroidissement lent et non troublé, à partir d'une température égale ou supérieure à x , produit la cristallisation ().*

Les fig. 22, 31, 32, 34 et 35 (Pl. II), montrent la structure cristalline de différents morceaux d'acier. La première est prise sur un petit lingot d'essai de 5 centimètres de côté, les quatre autres en différents points de sections transversales de rails.

Les photographies originales, au grossissement de 70 diamètres, ont été réduites par la reproduction, sur la Pl. II, à celui de 50 diamètres.

Proposition II.

Un refroidissement lent et non troublé, à partir d'une température inférieure à x , ne produit pas la cristallisation.

La fig. 30 (Pl. II) montre la structure d'un morceau de rail forgé sans interruption depuis la température du blanc jusqu'à celle du rouge sombre; cette structure est presque amorphe: pratiquement, il n'y a pas eu cristallisation pendant le refroidissement subséquent.

Corollaire. — Les pièces d'acier terminées à une température plus basse que x ne prennent pas la structure cristalline.

(*) La température x est le point b de Tchernoff. (Note du traducteur.)

Proposition III.

La température x varie avec la composition chimique de l'acier. Les différentes impuretés, du moins le carbone et le phosphore, abaissent x , bien que dans une mesure très différente.

Les fig. 22 et 23 (Pl. II) montrent la structure de deux petits lingots d'essai de mêmes dimensions et de mêmes formes refroidis dans les mêmes conditions à partir de la même température. La composition chimique est pratiquement la même, sauf la teneur en carbone qui est de 0,40 p. 100 dans le premier échantillon (acier à rails) et de 0,10 dans le second (acier doux).

Les fig. 24 et 25 (Pl. II) représentent la structure de deux morceaux d'acier qui ont subi le même traitement et dont la composition ne diffère que par les teneurs respectives en phosphore, 0,145 et 0,063 p. 100. On remarquera que l'acier phosphoré et l'acier carburé ont respectivement un grain beaucoup plus gros que les termes de comparaison à faible teneur en phosphore ou en carbone. La cristallisation s'est poursuivie dans les premiers (ou, en d'autres termes, le grain a continué de croître) longtemps après qu'elle s'était arrêtée dans les derniers.

Corollaire I. — Le carbone et le phosphore, et probablement toutes les impuretés, du moins lorsqu'elles atteignent une certaine teneur, augmentent les dimensions du grain.

— Le carbone, en augmentant la proportion du carbure de fer (qui est le constituant dur des aciers recuits), donne de la dureté et de la résistance au métal; en augmentant les dimensions du grain, il diminue la ductilité et peut amener la fragilité, si l'on n'y remédie par un traitement calorifique convenable.

Corollaire II. — Plus l'acier est pur, plus haute est la température à laquelle on peut terminer le travail sans produire une cristallisation grossière. — Des expériences

convenablement conduites pourraient nous apprendre quelle est la température x pour des aciers de différentes compositions, et ce renseignement serait extrêmement précieux. On saurait à quelle température on peut finir un acier de composition chimique donnée, sans risquer de lui faire prendre une structure cristalline fâcheuse.

C'est là un problème certainement complexe, mais non, semble-t-il, insoluble. Dans la dernière partie de cette communication, un programme sera esquissé, qui, dans la mesure où il a été déjà rempli, a donné des résultats encourageants.

Proposition IV.

Plus haute est la température à partir de laquelle l'acier est abandonné à un refroidissement lent et non troublé, plus gros est le grain pour une composition chimique donnée.

Les fig. 31 et 34 (Pl. II) montrent la structure au centre du champignon de deux rails terminés respectivement chaud et froid. Le profil était le même et les deux rails provenaient de la même coulée.

Cet exemple fait bien voir l'influence de la température initiale du refroidissement sur les dimensions du grain.

Proposition V.

Plus lent est le refroidissement, plus gros est le grain pour une composition donnée.

Corollaire (des propositions IV et V). — Le grain d'une pièce d'acier finie est plus grossier dans les régions qui ont été terminées plus chaudes et refroidies plus lentement.

Proposition VI.

Les dimensions du grain sont indépendantes du degré de corroyage.

Si l'on prend dans la même coulée deux lingots d'essai,

l'un de 10, l'autre de 5 centimètres de côté et qu'on les forge tous deux en carrés de 2^{cm},5, la barre qui provient du lingot le plus gros a le grain le plus fin. On pourrait être tenté d'en conclure que le grain fin est dû, pour une part au moins, au degré de corroyage; mais nous croyons qu'il a pour seule cause la température plus basse à laquelle la barre provenant du lingot le plus gros a été terminée; si, en effet, au lieu de laisser les deux barres se refroidir lentement à partir des températures respectives auxquelles elles ont été finies, on les réchauffe dans les mêmes conditions, par exemple au rouge vif, pour les abandonner alors au refroidissement lent, toutes deux prennent la même structure (*fig.* 28 et 29, Pl. II).

C'est là, en tout cas, un argument opposé à l'existence d'une action spéciale du corroyage. Le corroyage par lui-même semble n'avoir aucun effet sur le grain de l'acier; et on ne conçoit guère comment un traitement qui ne modifie pas la structure pourrait avoir une influence sur les propriétés mécaniques.

II. — MICROSTRUCTURE DES RAILS D'ACIER.

Une coupe polie et attaquée d'un rail d'acier, lorsqu'on l'examine sous le microscope, ne montre aucunement la même structure en toutes ses parties. Ce manque d'homogénéité est dû aux différences de température des différents points d'une section transversale à la sortie des cylindres finisseurs et à l'inégale vitesse de leur refroidissement subséquent.

Les propositions formulées dans la première partie de cette note nous permettaient de prévoir ces variations dans la structure d'un rail.

La surface, plus froide à la sortie des cylindres et soumise à un refroidissement plus rapide, sera moins sujette à cristalliser et prendra, par conséquent, un grain

plus fin que l'intérieur où la température plus haute et le refroidissement plus lent favorisent la cristallisation. C'est donc au centre du champignon que les grains ou cristaux atteindront leurs dimensions maximum, et c'est aux extrémités du patin, c'est-à-dire dans les régions qui sont toujours terminées les plus froides, que l'on trouvera le grain le plus fin. La tendance à la cristallisation grossière ira en croissant de la périphérie à l'intérieur.

Les mêmes propositions nous disent encore que, pour une composition donnée, la cristallisation sera d'autant plus prononcée que la température finale du laminage aura été plus haute et le refroidissement plus lent. D'où il résulte que les rails lourds seront généralement plus cristallins que les rails légers, puisqu'ils seront généralement terminés plus chauds.

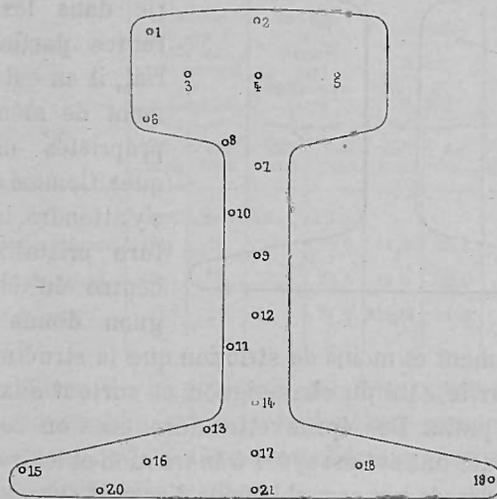


Fig. 2.

Les *fig.* 1 à 21 (Pl. II), montrent la structure d'un rail en 21 points différents de sa section transversale (*). Les

(*) Comparer Wedding, *Stahl und Eisen*, t. XI, p. 879, et Martens, *ibid.*, t. XII, p. 406.

positions respectives de ces points sont repérées sur la *fig. 2* ci-contre et portent les mêmes numéros que les photogrammes correspondants. Le grossissement est de 30 diamètres. Le rail a été fini passablement chaud. Le poids est de 39^{kg},7 par mètre. On voit comment la structure, très serrée vers la surface, devient de plus en plus grossièrement cristalline à mesure que l'on s'approche du centre du champignon.

Les photogrammes 31 à 36 (Pl. II) sont peut-être encore plus clairs. Ils ont été pris respectivement aux points 1, 2 et 3 du croquis 3 ci-joint; les *fig. 31, 32 et 33* sur un rail fini chaud, les *fig. 34, 35 et 36* sur un rail fini froid.

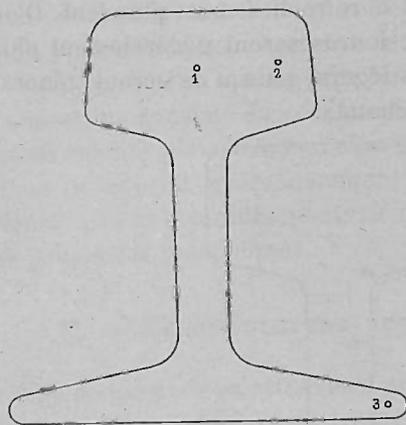


Fig. 3.

Si la structure varie dans les différentes parties d'un rail, il en est forcément de même des propriétés mécaniques. Comme on peut s'y attendre, la structure cristalline au centre du champignon donne moins

d'allongement et moins de striction que la structure plus serrée sur le côté du champignon et surtout aux extrémités du patin. Des éprouvettes découpées en ces différents points ont été essayées à la traction et les résultats se sont trouvés remarquablement d'accord avec les indications micrographiques.

Ainsi, au point de vue des propriétés mécaniques, un rail d'acier est un corps assez peu homogène. Tel est surtout le cas pour les rails finis trop chauds. Dans les rails finis assez froids, les différences de structure et les

écarts correspondants dans les propriétés mécaniques sont beaucoup moins prononcés.

Les *fig. 34, 35 et 36* (Pl. II) montrent, sur un rail fini froid, les structures respectives au centre et sur le côté du champignon et à l'extrémité du patin. Si on les compare aux *fig. 31, 32 et 33* prises aux mêmes points d'un rail fini chaud, on voit qu'elles présentent, dans tous les cas, un grain plus fin. Les deux rails ont le même profil et sont de la même coulée.

Le tableau suivant contient les résultats des essais par traction des six éprouvettes correspondant à ces six photogrammes.

Essais mécaniques en différents points de deux rails finis l'un chaud et l'autre froid.

POSITION de l'éprouvette	SURFACE du grain sous un grossissement de 100 diamètres		CHARGE de rupture par millimètre carré		ALLONGE- MENT P. 100		STRICTION	
	fini chaud	fini froid	fini chaud	fini froid	fini chaud	fini froid	fini chaud	fini froid
	mm ²	mm ²	kilog.	kilog.				
Centre du champignon.	148	86	70,2	70,9	15,0	20,5	20	23,0
Côté du champignon.	118	75	70,3	73,0	19,0	20,0	22	32,5
Extrémité du patin . . .	62	35	72,3	74,2	22,5	21,0	33	39,0

Les chiffres de la première colonne représentent la surface moyenne du grain en millimètres carrés sous un grossissement de 100 diamètres. Nous apprendrons plus tard à mesurer cette surface.

Les chiffres de ce tableau confirment bien nos propositions.

Puisque la structure d'un rail n'est pas homogène, la flèche avant rupture, dans un essai par flexion, variera beaucoup suivant la région dans laquelle on aura découpé

l'éprouvette. Il est donc très important, si l'on veut comparer par de tels essais la résistance des rails, de toujours découper les éprouvettes au même endroit. Une éprouvette de flexion prélevée au centre du champignon se comportera généralement plus mal que si elle eût été prise sur le côté, ou dans l'âme ou dans le patin; mais elle révélera plus facilement le dangereux état cristallin qui résulterait d'une température trop élevée à la fin du laminage.

Une autre conséquence des différences de structure, c'est que, quand les rails sont en service, certaines régions, plus faibles, ne supportent pas leur part normale de fatigue et s'en déchargent sur les régions plus résistantes, au détriment de l'endurance du rail tout entier.

Il semble donc que le rail idéal doive avoir la structure la plus homogène et le grain le plus fin qu'il soit possible. Nous nous approcherons de ce but en finissant le laminage à basse température (sans aller cependant jusqu'à l'écroutissage) et hâtant le refroidissement; ou bien en réchauffant à une température telle que la cristallisation ne se produise pas pendant le refroidissement subséquent.

III. — RELATIONS ENTRE LA MICROSTRUCTURE DES RAILS ET LEURS PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.

Quand une pièce d'acier n'a pas donné ce que l'on attendait d'elle soit aux épreuves préliminaires, soit à l'usage, c'est généralement à l'analyse chimique que nous en demandons l'explication. Quelquefois on essaye des éprouvettes découpées dans la pièce en défaut et on fait l'attaque d'une section; mais rarement va-t-on plus loin, du moins lorsqu'il s'agit de rails.

Presque jamais nous ne nous arrêtons à chercher si le traitement calorifique a bien été ce qu'il devait être. C'est là cependant un facteur qui n'est pas négligeable,

si l'on songe quelle importante action il exerce sur la structure et, par suite, sur les propriétés mécaniques du métal. Sans aucun doute, notre négligence a pour cause le manque de moyens usuels pour déterminer avec une précision suffisante le traitement calorifique passé d'une pièce d'acier finie. Mais ce traitement calorifique est écrit dans la structure en caractères auxquels on ne peut se méprendre. Conjointement avec la composition chimique, il fixe les dimensions et la forme du grain et, si nous connaissons la part propre de chacun de ces deux facteurs, l'un (la composition) étant connu, il nous serait facile de déterminer l'autre. C'est ici que le microscope intervient et paraît appelé à devenir un instrument de première utilité pour le fabricant d'acier en lui permettant de mesurer le résultat final, les dimensions du grain. En d'autres termes, de ces dimensions du grain et de la composition chimique de l'acier considéré, on peut déduire quel a été le traitement calorifique, et c'est là un renseignement très précieux qui expliquerait bien des accidents dont l'analyse chimique n'a pas trouvé la cause.

Maintenant, nous savons que les propriétés mécaniques d'une pièce saine d'acier de moyenne dureté dépendent :

1° De la proportion relative de perlite et de ferrite que cette pièce contient (proportion qui est elle-même une conséquence de la teneur en carbone);

2° Des dimensions du grain qui sont, à leur tour, la résultante de la composition chimique et du traitement calorifique.

Les expériences qui suivent ont eu pour objet de chercher une relation numérique entre les dimensions du grain et les propriétés mécaniques du métal.

Tout d'abord, nous comptons ne considérer que ces deux variables, espérant obtenir, après un nombre suf-

fisant d'essais, une courbe qui nous permettrait de prévoir, avec une approximation convenable, les propriétés d'un acier en fonction des dimensions du grain. Mais nous n'avons pas tardé à nous apercevoir qu'il fallait faire entrer en ligne de compte une troisième variable, la teneur en carbone, qui règle les proportions relatives de perlite et de ferrite. Et cela est facile à comprendre; car deux aciers, contenant l'un 10 et l'autre 50 p. 100 de ferrite, auront des propriétés très différentes, bien qu'ils puissent avoir le même grain. Les grains du premier seront en effet isolés par une couche épaisse de fer doux et les grains du second ne seront séparés que par un étroit réseau.

Si donc une relation constante existe entre les dimensions du grain et la qualité de l'acier, ce ne peut être que pour des aciers ayant à peu près même teneur en carbone. D'où la nécessité de sérier les échantillons en groupes de carburation pratiquement égale. Par exemple, les rails d'acier contenant de 0,30 à 0,40 p. 100 de carbone formeront un groupe, et les aciers doux de 0,10 à 0,15 en formeront un autre.

Mais, avant d'aller plus loin, il est utile de décrire rapidement le procédé employé pour la mensuration des grains.

L'installation comprend un microscope et ses accessoires, une chambre claire (type perfectionné d'Abbe) et un planimètre. L'échantillon dont on veut mesurer le grain est soigneusement poli et attaqué par le procédé usuel. Le microscope est vertical. A côté de lui et au milieu de la table se trouve une planche ronde, recouverte d'une feuille de papier blanc, que l'on peut faire monter ou descendre par un mouvement d'écrou : on peut ainsi, quelle que soit l'épaisseur des plaquettes, amener le papier à une distance donnée de l'oculaire et assurer l'uniformité du grossissement. L'éclairage étant réglé, il

est assez facile, avec un peu d'habitude, de suivre exactement les contours d'un grain avec la pointe du planimètre et d'en mesurer ainsi la surface. On peut aussi, si on le préfère, dessiner d'abord le grain au crayon et en mesurer ensuite l'aire avec le planimètre.

Il arrive souvent que les lignes de démarcation des grains sont, en quelques endroits, faibles et indécises; mais on peut généralement faire les raccords au crayon sans introduire d'erreur notable dans la mesure du grain moyen.

Ce que nous appelons ici des grains, ce sont, bien entendu, les mailles de notre réseau, c'est-à-dire les sections des grains de l'acier. Mais il nous suffit d'avoir des résultats comparables entre eux et, pour cela, l'aire moyenne des sections est tout aussi bonne que la surface moyenne ou le volume moyen des grains eux-mêmes.

On choisit le grossissement suivant les circonstances. Naturellement, quand les grains sont petits, comme il arrive pour l'acier doux et pour les aciers plus durs finis très froids, il faut avoir recours à des grossissements beaucoup plus forts. Dans certains cas, un objectif de 1/12 de pouce est nécessaire. Mais, en relevant nos résultats, nous les avons tous ramenés au grossissement uniforme de 100 diamètres.

Dans les aciers de moyenne dureté, la ferrite est peu abondante, les grains sont jointifs et on peut abrégier beaucoup le travail en négligeant l'aire occupée par le réseau. Il suffit alors de suivre avec le planimètre la limite extérieure de l'ensemble des grains non coupés visibles dans le champ du microscope et de diviser la surface totale par le nombre des grains inclus.

Comme exemple, nous avons tracé, sur la *fig. 4* ci-contre, au grossissement de 100 diamètres (réduit par la gravure à 45) les grains d'un rail d'acier. Tous les grains

non coupés sont enfermés dans une ligne grasse. L'aire délimitée par cette ligne a été trouvée de 10.940 millimètres carrés, ce qui, divisé par 45 grains, donne 243 millimètres carrés pour la surface moyenne du grain.

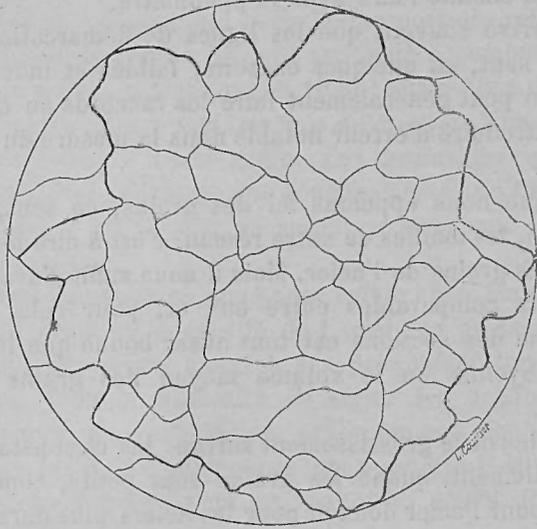


Fig. 4. (Gr. = 45 D.)
Grains de l'acier de moyenne dureté.

La plupart de nos barrettes d'essai avaient 508 millimètres de long avec une section carrée de 19 millimètres de côté. Une plaquette était prélevée à chaque extrémité pour l'étude micrographique et le reste servait à des essais de traction; on notait la charge maximum, l'allongement et la striction.

Au point où en sont nos expériences, nous ne pouvons publier que les résultats donnés par l'acier à rails. Ces résultats sont figurés dans le diagramme ci-joint (fig. 5). Encore sommes-nous obligés d'arrêter nos courbes au grain de 225 millimètres carrés; pour les grains de plus grande surface, le nombre des données n'est plus suffisant.

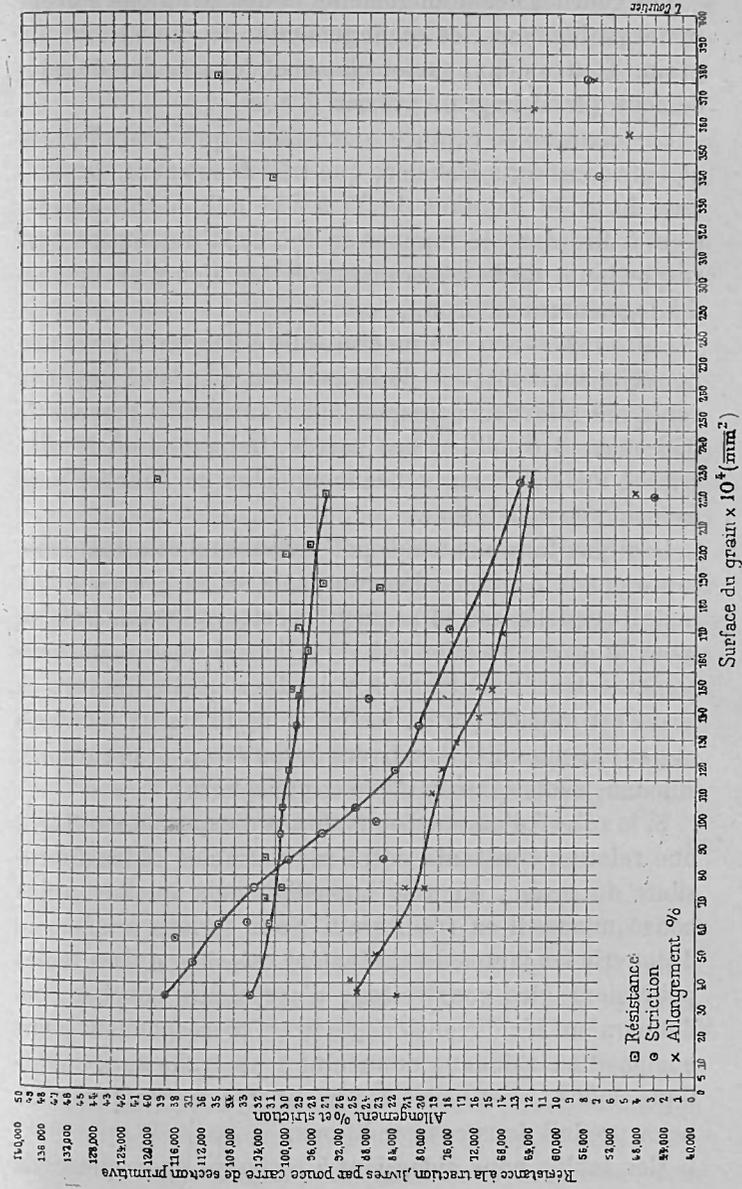


Fig. 5.
Surface du grain $\times 10^4$ (mm²)

Les courbes des allongements et des strictions suivent remarquablement les changements de dimensions du grain. Toutes deux, surtout la seconde, s'abaissent rapidement quand le grain grossit.

Les charges de rupture sont beaucoup moins affectées et leur courbe ne s'abaisse que très doucement. La surface du grain montant de 35 à 221 millimètres carrés, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 6, la diminution correspondante de la résistance à la traction n'est que de 7 kilogrammes environ.

Cette résistance continuerait-elle à décroître pour une nouvelle augmentation de la grosseur du grain? Les deux seuls cas relevés, correspondant à des grains moyens de 338 et de 376 millimètres carrés, indiqueraient le contraire; mais il faudrait beaucoup plus de données pour asseoir une conclusion.

Ces résultats montrent qu'il existe une relation constante entre les dimensions du grain et les propriétés du métal et quelle est la nature de cette relation. Mais ce n'est là qu'un premier pas dans la voie que nous nous sommes tracée. Il reste à voir dans quelle mesure le grain est modifié par la température finale du laminage et par chaque unité des divers corps étrangers: carbone, silicium, soufre, manganèse et phosphore.

Si le relevé d'un nombre suffisant d'expériences établit une relation constante entre ces variables et les dimensions du grain, on voit immédiatement quelles utiles conséquences il en résulterait. Nous serions à même de découvrir les fautes du traitement calorifique. Des tables pourraient être construites, d'après nos courbes, qui donneraient les dimensions du grain correspondant à une composition chimique donnée et à un traitement calorifique donné, c'est-à-dire les propriétés mécaniques d'un acier produit dans ces conditions.

Ces tables nous aideraient à résoudre deux questions

importantes: quel est le traitement calorifique le plus convenable pour obtenir d'un acier de composition donnée une structure demandée? Et quelle est la composition chimique la mieux appropriée à un certain traitement calorifique (réclamé par certaines raisons d'installation, d'économie, etc.) pour obtenir une structure demandée?

Déjà, dans l'état actuel de nos connaissances, l'examen micrographique de l'acier nous fournit nombre de renseignements utiles, surtout quand il comprend la mensuration du grain.

Cette méthode jette beaucoup de lumière sur la manière dont un acier donné supporte un traitement calorifique donné. Elle montre, dans une certaine mesure, à quelle température maximum on peut finir un acier de composition chimique connue sans lui faire prendre une structure cristalline fâcheuse. Mais, surtout, elle nous en apprend très long sur le traitement calorifique auquel un métal fini a été soumis dans le passé. Si les dimensions du grain ne sont pas, dans l'acier examiné, celles qui répondent à la composition chimique, on peut conclure sans hésitation que le traitement calorifique a été défectueux: le métal a été abandonné au refroidissement lent à partir d'une température trop élevée, d'où l'apparition d'une cristallisation grossière.

La communication de M. Sauveur et les communications connexes ont donné lieu à une discussion intéressante, qui est résumée ci-dessous.

M. W.-R. WEBSTER pense qu'il est difficile d'évaluer la quantité d'acier journallement gâtée par un laminage terminé à température trop haute, et qu'il ne l'est pas moins de faire cesser ces mauvaises habitudes. Les

chauffeurs et les lamineurs sont des *tonnage-men*, et ils ne se résigneront pas toujours à perdre du temps pour finir leurs produits à la température convenable.

M. R.-A. HADFIELD estime que les recherches de métallographie intéressent tout particulièrement les fabricants de moulages auxquels les cahiers des charges imposent des conditions de plus en plus sévères. D'une façon générale, il est certain, comme le dit M. Sauveur, que l'allongement et la striction des aciers non trempés sont en rapport avec la finesse du grain. Cependant, certains moulages allemands, dont le grain est très grossier (*), ont donné de bons essais à la traction. Il est vrai que les essais au choc n'étaient pas aussi satisfaisants. Quoiqu'il en soit, le grain fin, qui annonce un recuit bien fait, semble toujours préférable.

M. Hadfield a déjà, de son côté, appelé plusieurs fois l'attention sur l'importance d'une étude systématique du traitement calorifique. Le fer, soit sous la forme d'acier au carbone, soit dans ses autres alliages, est extrêmement sensible à ce traitement.

M. P.-H. DUDLEY présente de longues et substantielles remarques, également utiles aux ingénieurs qui fabriquent les rails et à ceux qui les commandent.

Pour les aciers qui demandent à la fois de la dureté et du corps, ou une limite élastique élevée par rapport à la charge de rupture, on sait aujourd'hui que la connaissance de la composition chimique est insuffisante et ne définit que les qualités virtuelles du métal. Il faut encore rendre ces qualités réelles par un traitement mécanique et calorifique bien approprié.

Les artilleurs jugent de l'état de leur acier, pendant

(*) Une distinction serait à faire entre le grain défini par la micrographie et le grain des cassures, qui peut être une agglomération de grains simples (*Note du traducteur.*)

l'essai de traction, d'après l'aspect lisse ou chagriné de la peau de la barrette autant que par le rapport entre la limite élastique et la charge de rupture; et cet aspect dépend de la grosseur des éléments de structure.

Si l'on croit souvent, aujourd'hui encore, que la composition chimique suffit à définir les propriétés mécaniques d'un rail ou d'un essieu, indépendamment de la forme du profil et des procédés de fabrication, c'est une suite de cette vieille idée que la fusion assure l'homogénéité. Mais on oublie les forces cristallines qui interviennent pendant la solidification et le refroidissement subséquent. Les anciens rails légers, tirés de petits lingots forgés d'abord, puis passés à de nombreuses cannelures et terminés relativement froids, avaient des champignons à grain fin qui résistaient bien à l'écoulement, et leur usure était si faible qu'on ne songeait pas à mettre l'homogénéité en doute. Plusieurs de ces rails, examinés au microscope, n'ont montré qu'une structure confuse au grossissement de 50 diamètres.

Dans les rails à gros champignon, la structure est plus grossière, les agrégats sont grands et mal cohérents; le métal s'écoule sous la pression des bandages; de petits fragments se détachent de la surface et les côtés se décollent sur de grandes longueurs: les anciens rails valaient mieux que ceux d'aujourd'hui.

M. Dudley a tracé, depuis plus de dix ans, pour les rails lourds, un profil de champignon large et plat qui permet un refroidissement plus rapide que celui des rails ordinaires et rend le grain d'autant plus fin. Ce type a donné toute satisfaction et a été adopté par beaucoup de compagnies de chemins de fer.

Mais les difficultés augmentent avec le poids du mètre courant. Pour assurer la finesse du grain à des rails de 47 kilogrammes par mètre, M. Dudley a été conduit à élever la teneur en carbone jusqu'à 0,60 p. 100 et la

teneur en manganèse jusqu'à 0,80 — 0,90, avec un maximum de 0,06 de phosphore et de 0,07 de soufre. Malgré cette dureté, que bien des ingénieurs jugeaient dangereuse, on a pu régler la fabrication de façon à obtenir une résistance au choc inespérée. Plus de 150.000 tonnes de ces rails avaient déjà été laminées en 1893 et se comportaient bien à l'usage.

Bref, l'étude de la structure a déjà rendu de grands services pour l'amélioration de la qualité des rails. Mais, à côté de la microstructure du produit fini, il faut aussi faire une place à la macrostructure du lingot initial.

M. A. SAUVEUR appelle l'attention sur la concordance entre ses conclusions et celles du travail présenté par M. Osmond au même congrès (*).

M. H.-M. HOWE pense qu'il ne faut pas laisser de côté l'examen des cassures. Les cassures suivent les surfaces de faiblesse et l'étude de ces surfaces, de leur distribution et de la grandeur de leurs mailles pour divers états des aciers et après divers traitements calorifiques, paraît devoir être d'un incalculable profit (**).

La relation entre la grosseur du grain et les propriétés mécaniques du métal ne serait plus exacte dans certains cas particuliers, notamment pour les aciers-manganèse dont le grain, tel du moins qu'on peut l'apprécier sur la cassure, est devenu plus grossier après trempe, tandis que l'allongement a énormément augmenté.

(*) Ce travail était, à peu de chose près, la reproduction d'un rapport présenté un an auparavant à la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction. (*Note du traducteur.*)

(**) Il peut exister en effet, dans un même acier, plusieurs réseaux de surfaces de faiblesse d'origines différentes et celui d'entre eux qui offre la moindre résistance à un effort donné cède naturellement le premier à cet effort. Mais la métallographie microscopique révèle tous ces réseaux. (*Note du traducteur.*)

M. A. SAUVEUR répond que ses conclusions ne s'appliquent, bien entendu, qu'aux aciers carburés, les seuls dont il ait eu l'occasion de s'occuper.

La microstructure d'un acier fini est-elle affectée par la température de coulée et par la température à l'origine du laminage? Cela n'a pas été établi. Certainement ces deux facteurs ont une grande importance pour la qualité du produit : l'un influe sur la position et les dimensions des soufflures et l'autre sur leur soudabilité. Mais ils ne semblent pas agir sur la microstructure, si ce n'est indirectement en modifiant la température de finissage.

M. H.-M. HOWE intervient de nouveau. Si un refroidissement lent et non troublé, à partir d'une température égale ou supérieure à x , produit la cristallisation (proposition I de M. Sauveur), le fait observé est-il le résultat du refroidissement lent lui-même ou de la température seule? Dans le cas où la seconde alternative serait la vraie, la proposition deviendrait beaucoup plus large.

Est-il bien démontré que la température x soit abaissée par la présence du carbone et du phosphore (proposition III de M. Sauveur)? Nous voyons bien que la grosseur du grain augmente avec la proportion du carbone et du phosphore, mais cela ne prouve pas que le grain continue à croître plus longtemps pendant le refroidissement dans un acier phosphoré que dans un acier pur; le grain plus gros du premier peut être dû à une croissance plus rapide à la température maximum.

Si le grain est d'autant plus gros que le refroidissement est plus lent (proposition V de M. Sauveur), n'est-ce pas là un corollaire de cette proposition plus générale, à savoir que le grain met un certain temps à atteindre les dimensions correspondant à une température donnée et les atteint avec une vitesse progressivement retardée (*)?

(*) Les observations de M. Howe paraissent justes, et nous-

Les *fig.* 1 à 21 (Pl. II) sont parfaitement groupées pour montrer l'influence de la température de la fin du laminage. Mais n'est-il pas étonnant que le grain aux points 3 et 5 soit beaucoup plus fin qu'aux points 7, 9, 12 et 14 (*)?

M. OSMOND, qui n'assistait pas aux congrès américains, profite de l'occasion qui lui est offerte aujourd'hui pour présenter ici ses remarques.

Les propositions de M. Sauveur nous paraissent se trouver toutes, au moins en germe, dans le mémoire justement célèbre de Tchernoff. Ce qui constitue, à notre avis, l'originalité et l'utilité du travail de M. Sauveur, c'est d'avoir relié numériquement les données de la micrographie à celles des essais mécaniques et rendu ainsi quantitative, au grand profit de l'industrie, une méthode d'essai jusque-là qualitative.

Les aciers pour rails se prêtaient très bien aux premières investigations, parce que la ferrite y dessine un réseau fin et fermé dont les mailles sont remplies par la perlite, parce que ce réseau est mis facilement en évidence par l'acide azotique et que le *grain* se trouve ainsi nettement défini. Mais la méthode pourrait encore s'appliquer à d'autres aciers, *mutatis mutandis*. Dans les aciers extra-doux par exemple, on retrouverait certainement les mêmes lois générales, mais à la condition de mesurer le grain de la ferrite et non plus celui de la per-

même en avons fait d'analogues en discutant la signification du point *b* de Tchernoff (*Annales des Mines*, 8^e série, t. XIV, p. 78). Mais il faut remarquer que ces observations ne portent que sur la forme et l'interprétation des propositions de M. Sauveur, dont l'exactitude même n'est pas discutée. (*Note du traducteur.*)

(*) La structure aux points 7, 9, 12 et 14 est très probablement influencée par la ségrégation, c'est-à-dire par une augmentation locale des teneurs en carbone et phosphore dans la région centrale supérieure du lingot. (*Note du traducteur.*)

lite; car l'aire totale de la perlite, *dans les aciers refroidis lentement*, n'est guère fonction que de la teneur en carbone et diminue probablement plutôt qu'elle n'augmente quand on élève la température initiale du refroidissement tranquille. On aurait plus de difficultés avec les aciers très durs. On n'a plus ici de réseau polygonal de ferrite: qu'appellera-t-on grain de la perlite? Sera-ce la cellule composée de premier ordre, c'est-à-dire l'îlot formé par un groupe de lamelles parallèles? Mais la délimitation de ces îlots est difficile et incertaine. Sera-ce la cellule composée de second ordre, c'est-à-dire le polyèdre régulier composé d'une agglomération des éléments de la première espèce? Mais ces polyèdres n'apparaissent que dans l'acier brûlé. Heureusement, les aciers durs en question n'ont que des emplois limités et n'entrent pas dans les préoccupations des grandes industries.

Légende des photogrammes de la planche II.

N ^o 1 à 21.	Structure en différents points de la section transversale d'un rail. (Chaque photogramme est pris au point marqué du même numéro sur le profil de la <i>fig.</i> 2, p. 161).	Gr = 30 D.
22	Acier Bessemer pour rails, brut de coulée; petit lingot de 50 ^{mm} de côté refroidi lentement.	C = 0,40; Gr = 50 D.
23	Acier Bessemer doux, brut de coulée; petit lingot de 50 ^{mm} de côté refroidi lentement.	C = 0,10; Gr = 50 D.
24	Acier Bessemer forgé.	Ph = 0,145; Gr = 50 D.
25	Acier Bessemer forgé.	Ph = 0,063; Gr = 50 D.
26	Acier Bessemer pour rails; petit lingot de 50 ^{mm} de côté, forgé en barre de 25 ^{mm} de côté et refroidi lentement.	Gr = 50 D.
27	Acier Bessemer pour rails; petit lingot de 100 ^{mm} de côté, forgé en barre de 25 ^{mm} de côté et refroidi lentement.	Gr = 50 D.
28	Acier de la <i>fig.</i> 26 réchauffé et refroidi lentement.	Gr = 50 D.
29	Acier de la <i>fig.</i> 27 réchauffé et refroidi lentement.	Gr = 50 D.
30	Acier Bessemer; barre forgée à partir du blanc jusqu'au rouge sombre.	Gr = 50 D.
31	Centre du champignon.	} d'un rail fini chaud. . . } } Gr = 50 D.
32	Bord du champignon.	
33	Extrémité du patin.	
34	Centre du champignon.	
35	Bord du champignon.	} d'un rail fini froid. . . } } Gr = 50 D.
36	Extrémité du patin.	

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1893

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux de M. PROST, Ingénieur des mines. (Extrait.)

§ 1. — MINÉRAIS.

1° à 9°. *Minerais de plomb et de zinc.* — Recherches d'Arrigas (Gard). Gîte de contact entre les calcaires métamorphiques et les schistes anciens. Le remplissage quartzéux contient de la blende, de la galène, de la calamine près des calcaires, et des mouches de cuivre oxydé.

N° 1. Calamine à gangue calcaire :

Zinc 25,00 p. 100

N° 2. Calamine à gangue calcaire :

Zinc 30,80 p. 100

N° 3. Calamine à gangue calcaire :

Zinc 32,50 p. 100

N° 4. Blende à gangue quartzéuse.

Zinc 17,10 p. 100

N° 5. Galène à larges facettes, gangue quartzéuse :

Plomb 69,50 p. 100

Argent 0^{kg},870 à la tonne de Pb.

N° 6. Galène à grains fins, avec blende et pyrite de fer :

Plomb 24,20 p. 100

Argent 1^{kg},040 à la tonne de Pb.

N° 7. Calamine à gangue calcaire :

Zinc 28,10 p. 100

N° 8. Calamine à gangue calcaire :

Zinc 25,80 p. 100

N° 9. Blende à gangue quartzéuse :

Zinc 33,00 p. 100

10° à 12° *Minerais de plomb argentifères.* — Échantillons provenant de la concession de Villefort et Vialas.

N° 10. Vialas. Galène à grains fins de la veine h. 5 du Bloc :

Plomb 75,50 p. 100

Argent 5^{kg},830 à la tonne de Pb.

N° 11. Villefort. Galène à gangue quartzéuse du filon de Chaulondres :

Plomb 18,50 p. 100

Argent 4^{kg},700 à la tonne de Pb.

N° 12. Villefort. Galène à gangue barytique du même filon :

Plomb 35,10 p. 100

Argent 0^{kg},715 à la tonne de Pb.

13° à 16°. *Mispickel aurifère et galène.* — Recherches d'Arphi (Gard). Gisements situés dans les schistes anciens et le granite.

N° 13. Mispickel dans les schistes anciens :

Or 30 grammes à la tonne de minéral.

Argent 70 grammes à la tonne de minéral.

N° 14. Galène lamellaire trouvée à l'état sporadique dans le filon d'Arphi dont la roche encaissante est le granite :

Plomb 81,50 p. 100

Argent 307 grammes à la tonne de plomb.

N° 15. Roche de remplissage de ce filon. Calcaire magnésien argileux :

Silice 8,10 p. 100

Fer et alumine 8,10 — (peu de fer).

Carbonate de chaux 49,10 —

Carbonate de magnésie 35,00 —

N° 16. Échantillon ferrifère pris au milieu du remplissage précédent :

Traces de plomb; pas de zinc; pas de carbonates.

17° à 27°. *Minerais de plomb et de zinc.* — Échantillons provenant des concessions abandonnées de Saint-André-Lachamp et de Sablières (Ardèche).

N° 17. Calamines de Saint-André-Lachamp. Trias moyen, banc de dolomie. L'exploitation n'a porté que sur le gisement de l'Esplanelle. Au sud-ouest, à Civade, existent d'autres affleurements. Un échantillon a été pris sur l'un d'eux, près l'amorce de galerie dite Sainte-Barbe :

Zinc 42,21 p. 100

Galènes de Sablière, galeries de Monteperrier, la Fage et Cour-nis, et recherches du ravin de Serrailon voisines de la limite est et en dehors du périmètre de la concession de Sablières. La région est entièrement formée de schistes sériciteux.

N° 18. Filon de la Fage n° 8. Galène à larges facettes.

Plomb 44,70 p. 100
Argent 1^{kg},007 à la tonne de Pb.

N° 19. Filon de Serrailon, heure 9 des anciens. Galène à grain moyen et à gangue schisteuse :

Plomb 28,50 p. 100
Argent 1^{kg},580 à la tonne de Pb.

N° 20. Serrailon n° 3. Croiseur pyriteux, galène à grains fins et à larges facettes avec pyrite de fer; gangue barytique :

Plomb 22,10 p. 100
Argent 0^{kg},910 à la tonne de Pb.

N° 21. Serrailon n° 1 bis. Galène à grain moyen; gangue barytique :

Plomb 14,30 p. 100
Argent 2^{kg},238 à la tonne de Pb.

N° 22. Serrailon heure 7. Galène à grains fins, gangue barytique :

Plomb 11,20 p. 100
Argent 3^{kg},120 à la tonne de Pb.

N° 23. Serrailon heure 8. Galène à grains fins avec pyrite de fer; gangue quartzreuse et barytique :

Plomb 10,20 p. 100
Argent 1^{kg},568 à la tonne de Pb.

N° 24. Filon de Cournis. Minerai au toit :

Plomb 36,30 p. 100
Argent 0^{kg},961 à la tonne de Pb.

N° 25. Filon de Cournis. Minerai de la halde. Galène à larges facettes; gangue quartzreuse :

Plomb 23,20 p. 100
Argent 1^{kg},080 à la tonne de Pb.

N° 26. Filon de Cournis. Minerai du mur :

Plomb 44,20 p. 100
Argent 0^{kg},520 à la tonne de Pb.

N° 27. Filon de Monteperrier. Croiseur heure 5 (Inclinaison 60° Est). Galène à larges facettes, gangue quartzreuse :

Plomb 74,00 p. 100
Argent 1^{kg},00 à la tonne de Pb.

28° à 40°. *Minerais de plomb et de zinc.* — Recherches de Campis (Gard). Gîtes de contact entre les calcaires métamorphiques et les schistes anciens.

N° 28. Galerie des Abeilles. Calcaire siliceux :

Zinc 4,50 p. 100

N° 29. Mas des Roumieux, près Pommier. Affleurements au-dessus de l'attaque. Calcaire argileux :

Zinc 4,60 p. 100

N° 30 à 40. Campis. Échantillons pris en divers points de la galerie des Abeilles qui suit le filon de contact :

N° 30.

Zinc 13,20 p. 100

N° 31.

Zinc 0,25 p. 100

N° 32.

Plomb 17,50 p. 100
Cuivre 9,50 p. 100
Zinc 1,40 p. 100

Pour les huit autres échantillons : pas de zinc.

41 à 45°. *Minerais de plomb et de zinc.* — Recherches de Dompnac et de Valgorge (Ardèche), effectuées sur des filons plombeux dans les micaschistes.

Échantillons présentés par M. Thomas, contrôleur principal des mines.

Les essais de ces minerais ont été faits pour compléter, dans les archives du service, les données relatives à cette région, limitrophe de celle de Sablières.

N° 41. Commune de Dompnac. Clède de Bayle. Entrée d'une galerie de 30 mètres.

Galène lamellaire, avec mouches de pyrite de cuivre :

Plomb	71,10 p. 100
Argent	1 ^{kg} ,033 à la tonne de Pb.

N° 42. Commune de Valgorge. Vallée de Labeaume en anont de Valgorge. Filon n° 1. Tranchée de 3 mètres. Galène à petites facettes; gangue quartzeuse :

Plomb	45,20 p. 100
Argent	0 ^{kg} ,820 à la tonne de Pb.

N° 43. Vallée de Labeaume. Blende et pyrite de fer; gangue barytique et quartzeuse :

Zinc	22,70 p. 100
Plomb	pas.

N° 44. Vallée de Labeaume. Filon n° 3. En surface. Blende et pyrite de fer, gangue quartzeuse et barytique :

Zinc	16,20 p. 100
Plomb	pas.

N° 45. Vallée de Labeaume. Filon n° 4. Galène à petites facettes, avec pyrite de fer, gangue quartzeuse :

Plomb	20,50 p. 100
Argent	0 ^{kg} ,820 à la tonne de Pb.

§ 2. — EAUX MINÉRALES.

1° Eau de la source thermale de la Chaldette (Lozère).

Température de l'eau : 27° Réaumur.

L'eau jaillit verticalement d'une fissure de rocher granitique. Elle est onctueuse au toucher, incolore et légèrement styptique.

	PAR LITRE.		PAR LITRE.
Carbonate de soude	0 ^{gr} ,479	Chlorure de sodium	0 ^{gr} ,011
— de potasse	traces	Sulfate de soude	traces
— de chaux	pas	Silice	0 ^{gr} ,001
— de magnésie	pas	Acide carbonique libre	pas
Alumine et fer	traces	Acide sulfhydrique	pas

Matière onctueuse appelée barégine : 0^{gr},070 par litre
(cette matière contient 80 p. 100 de silice).

II. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de feu M. TINGRY, Contrôleur des mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — MINÉRAIS.

1° *Calamines*. — Essai pour zinc de trois échantillons provenant du Chenoua, remis par M. Baille.

N° 1. Roche gris rosé présentant des couches superposées irrégulièrement avec géodes intercalées de calamine nettement cristallisée. Entre les différentes couches, on trouve des épaisseurs plus petites de calcaire blanc.

N° 2. Masse concrétionnée à structure spongieuse d'un brun noirâtre contenant des lentilles de matière dure, à pâte fine d'un jaune sale avec quelques paillettes de blende.

N° 3. Échantillon ressemblant beaucoup au précédent, mais d'une couleur plus rouge brique et avec petites géodes visibles de calamine :

	Zinc p. 100
N° 1	23,5
N° 2	fortes traces.
N° 3	traces.

2° *Minéral de zinc*. — Échantillon provenant de Nador Chair (commune mixte de Palestro), remis par M. Pape.

Couleur gris jaunâtre. Texture boursoufflée. C'est un carbonate de zinc ferrugineux à mouches de galène contenant :

Zinc	35,2 p. 100
----------------	-------------

3° *Blende*. — Échantillon à larges facettes contenant quelques cristaux de sulfate de baryte, provenant de Gnerrouma, remis par la Compagnie des mines.

L'analyse a donné :

Zinc	55,00 p. 100
----------------	--------------

4° *Galène*. — Échantillon provenant des environs de Palestro, remis par M. Pape.

Galène à grain assez fin et à gangue de sulfate de baryte :

Plomb	69,7 p. 100
Argent à la tonne de plomb	0 ^{kg} ,460

5° *Galène*. — Échantillon provenant de Palestro, remis par M. Brèthes.

Galène à larges facettes noyée dans une gangue de sulfate de baryte :

Plomb	58,4 p. 100
Argent	traces notables.

6° *Minerais de cuivre*. — Échantillons provenant de Khenchela (Constantine), remis par M. Gardes.

1. Cuivre gris compact sur gangue de baryte très pure injectée de quelques cristaux de malachite et d'azurite.

Cuivre	33,48 p. 100
Argent	fortes traces.

2. Mélange de cuivre gris, de pyrite et de malachite avec gangue de grès quartzeux et de baryte.

Cuivre	19,30 p. 100
Argent	traces.

7° *Minéral de fer*. — Échantillon provenant de l'Oued-Tiffa, remis par M. l'Ingénieur en chef des mines.

Résidu insoluble dans l'acide . . .	0,0379
Silice gélatineuse	0,1732
Alumine	0,0039
Oxyde de fer	0,7888 (Fe : 56 p. 100)
	<hr/>
	1,0038

§ 2. — PHOSPHATES.

1° à 14° *Roches phosphatées*. — Échantillons provenant des environs de Biskra, remis par M. le D^r Treille.

N° 1. Roche dure, compacte, noirâtre, à pâte très fine, injectée de petits rognons de matière blanchâtre plus tendre.

N° 2. Roche gris jaunâtre sale, très dure, compacte et très homogène.

N° 3. Semblable à l'échantillon précédent, mais plus gris.

N° 4. Très semblable au n° 2.

N° 5. Ressemble à l'échantillon n° 1, mais avec des rognons plus nombreux et très petits et un gros nodule grisâtre.

N° 6. Ressemble au n° 1.

N° 7. Semblable au n° 3, mais avec des nodules de matière pulvérulente grisâtre.

N° 8. Exactement semblable au n° 3.

N° 9. Exactement semblable au n° 3.

N° 10. Diffère des autres échantillons par la cassure moins franche, plus fouillée et une texture plus spongieuse.

N° 11. En tout semblable au n° 3.

Teneur en acide phosphorique :

N° 1	13,80 p. 100	N° 7	29,50 p. 400
2	3,50	8	1,56
3	2,85	9	2,20
4	4,50	10	29,20
5	20,20	11	3,45
6	10,70		

12° *Roche phosphatée*. — Échantillon provenant d'Affreville, remis par M. Cluzel, gérant de la ferme du Puits, près Affreville.

Cet échantillon se présente sous la forme de rognons de grosseur moyenne, de couleur brun jaune, assez durs. Brisés, ils présentent sur la cassure des nodules intérieurs assez réguliers, d'une couleur plus claire et d'une consistance plus tendre et pulvérulente.

Acide phosphorique total 11,20 p. 100

La recherche des bases a amené à conclure que ces roches contiennent un mélange en proportions à peu près égales de phosphates de chaux et d'alumine colorés par une petite quantité d'oxyde de fer.

13° et 14° *Guanos*. — Échantillons provenant des environs de Palestro, remis par M. Brèthes.

Les échantillons sont en poudre tamisée et ont l'aspect d'un terreau.

	N° 1.	N° 2.
Acide phosphorique . . .	1,75 p. 100	1,34 p. 100
Azote	9,80	7,80

§ 3. — EAUX.

1° et 2° *Eaux minérales*. — Échantillons provenant de l'Oued-Selloum, remis par M. l'Ingénieur en chef des mines.

Les prises d'échantillon ont été faites par le service, et l'acide carbonique précipité sur place.

Éléments dosés par litre :

	SOURCE A. gr.	SOURCE B. gr.
Acide chlorhydrique	0,127	0,099
— sulfurique	0,028	0,035
— carbonique combiné	1,465	0,967
— — libre	0,275	0,738
— silicique	0,035	0,015
Chaux	0,375	0,306
Magnésie	0,087	0,009
Soude	0,604	0,438
Oxyde de fer	0,011	0,009
Alumine	0,019	0,059

d'où pour la composition probable par litre :

	SOURCE A. gr.	SOURCE B. gr.
Chlorure de sodium	0,204	0,159
Sulfate de soude	0,050	0,062
Bicarbonate de magnésie	0,279	0,019
— de chaux	0,964	0,787
— de soude	1,147	0,791
— de fer	0,028	0,023
Silice	0,035	0,015
Alumine	0,019	0,059
Total des sels	2,726	1,915

III. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

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

§ 1. — MINÉRAIS.

1° *Calamine*. — Échantillon provenant du Djebel-Bou-Djaber et remis par M. Courbet.

Minéral poreux. Nombreuses cellules tapissées d'un enduit blanchâtre. Soluble dans les acides avec effervescence en laissant un faible résidu.

Trouvé :

Zinc 46,38 p. 100

2° *Calamine*. — Échantillons provenant du Djebel-Guergour et remis par M. Faure.

Ces minerais présentent l'aspect de roches ferrugineuses par-

semées de cellules et rappelant bien l'aspect du zinc carbonaté.

Le zinc a été dosé au moyen de la liqueur titrée de monosulfure de sodium, après s'être assuré par un essai qualitatif, qu'il n'y avait pas de manganèse.

Trouvé p. 100 :

Échantillon n° 1, zinc	42,23
— 2, —	24,84
— 3, —	28,57
— 4, —	31,55
— 5, —	40,99
— 6, —	21,30
— 7, —	5,28
— 8, —	41,93
— 9, —	7,45
— 10, —	3,42
— 11, —	33,85
— 12, —	50,00
— 13, —	20,50
— 14, —	34,46
— 15, —	26,42
— 16, —	34,16
— 17, —	25,46
— 18, —	42,85
— 19, —	55,28
— 20, —	61,49
— 21, —	42,85
— 22, —	29,50
— 23, —	22,05
— 24, —	39,44

3° *Calamine*. — Échantillon provenant de la Tunisie et remis par M. Charpin.

Trouvé :

Zinc 26,32 p. 100

4° *Galène*. — Échantillon provenant de Tébessa et remis par M. Perrat.

Galène à grandes facettes et à gangue calcaire.

Trouvé :

Plomb (voie sèche) 81,60 p. 100

Le culot passé à la coupelle accuse des traces faibles de métaux fins.

5° *Minéral de fer*. — Échantillon provenant de Bône et remis par M. Salibat.

Ce minerai est constitué par de l'hématite brune à gangue argileuse.

Trouvé :

Fer. 49,28 p. 100

6° *Minerai de fer.* — Échantillon provenant de Bône et remis par M. Maclair.

Ce minerai est de l'hématite rouge à gangue argileuse.

Trouvé :

Fer. 52,63 p. 100

7° *Minerai de fer manganésé.* — Échantillon provenant du cap Aokas et remis par M. Guiller.

Cet échantillon, donné comme phosphate de chaux, ne contient pas trace d'acide phosphorique, c'est de l'hématite de fer manganésée.

Trouvé :

Fer. 16,91 p. 100

Manganèse 6,19

8° *Minerai de manganèse.* — Échantillon provenant de l'Oued-Atménia et remis par M. H. de Tondonnet.

Ce minerai est constitué par du manganèse oxydé (pyrolusite).

Trouvé :

Manganèse 22,48 p. 100

9° *Minerai de soufre.* — Échantillon en poudre provenant d'Oued-Mia et remis par M. Jacob, ingénieur des mines.

Cette poudre, d'une couleur gris jaunâtre, essayée pour soufre, a donné :

Soufre total. 53,96 p. 100

Soufre à l'état de sulfate. 1,442

§ 2. — PHOSPHATES.

1° *Phosphate de chaux.* — Échantillon provenant du Djebel-Kouif et remis par M. Bertagna.

L'échantillon a l'aspect d'un calcaire rougeâtre; il est totalement soluble dans les acides minéraux avec effervescence.

Trouvé :

Phosphate tribasique de chaux. . . 63,89 p. 100

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — CONSTANTINE. 189

2° *Phosphates de chaux.* — Échantillons provenant de la commune mixte de Morsott et remis par M. Boët.

Ces échantillons ont l'aspect extérieur des calcaires avec des teintes variant du gris au blanc; ces derniers ont une texture qui permet de les ranger dans la catégorie des marnes.

Les analyses faites sur 26 échantillons donnent :

Échantillon n°	Phosphate tribasique de chaux	Pour 100.
1	71,86	
2	—	6,48 (Marnes).
3 (a)	—	traces
3 (b)	—	12,89
3 (c)	—	20,28
4	—	traces
4 bis	—	0,45
5	—	10,56
6	—	traces
7	—	traces
8	—	12,35
9	—	28,80 (Marnes blanches).
10	—	54,96
11	—	66,66
12 (a)	—	0,84 (Marnes).
12 (b)	—	traces
12 (c)	—	9,98
12 (d)	—	54,92
12 (e)	—	16,32 (Argile au toit de la couche).
12 (f)	—	48,29
12 (f ₁)	—	53,45
12 (g)	—	59,79
13	—	20,32 (Marnes).
14	—	56,18
15	—	60,53
16	—	57,91

3° *Phosphates de chaux.* — Échantillons provenant d'Aïn Fakroun et remis par M. Souillot.

Neuf échantillons ont été remis; ce sont des calcaires légèrement teints de rouge.

Échantillon n°	Phosphate tribasique de chaux	Pour 100.
1	53,07	
2	—	3,65
3	—	27,87
4	—	29,85
5	—	31,68
6	—	35,46
7	—	39,97
8	—	41,09
9	—	33,22

IV. — LABORATOIRE D'ORAN.

Travaux de M. PONCELET, Contrôleur des mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — MINÉRAIS.

1° *Minérai de fer.* — Échantillon provenant des environs de Nemours et remis par M. Munoz.

L'échantillon est un fer magnétique contenant :

Fer	68,2 p. 100.
---------------	--------------

2° *Minérai de fer.* — Échantillon provenant de la forêt de Muley Ismail et remis par M. Lichine François.

L'échantillon est une hématite rouge très siliceuse.

Trouvé :

Fer	47,4 p. 100.
---------------	--------------

3° *Minérai de fer.* — Échantillon provenant de Tazout, remis par M. Manuel Gonzalez.

L'échantillon est un mélange de fer oligiste micacé et d'hématite rouge, à gangue calcaire.

Trouvé :

Fer	45,7 p. 100.
---------------	--------------

4° *Minérai de fer.* — Échantillon provenant du Djebel Aïoun et remis par M. Augustin Ros.

L'échantillon est un mélange de calcaire et de fer hydrocarbonaté.

Trouvé :

Fer	35 p. 100.
---------------	------------

5° *Calamine.* — Échantillons provenant des recherches Fabriès à Si Mohamed ben Aouda.

Minérai d'aspect travertineux teinté par de l'oxyde de fer.

	N° 1.	N° 2.
Zinc, pour 100	34,5	31,00

6° *Minérai de fer avec soufre.* — Échantillon provenant des recherches Fabriès et remis par M. Stopin.

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — ORAN. 191

Mélange de chaux sulfatée en petits cristaux et de mouches d'hydrate de sesquioxyde de fer mêlées d'un peu de soufre.

Trouvé :

Perte par incinération	14,20 p. 100.
Soufre (perte par épuisement au sulfure de carbone)	0,60 p. 100.

§ 2. — PHOSPHATES.

1° *Phosphates de chaux.* — Onze échantillons provenant des gîtes d'Inkermann.

Les échantillons sont en poudre grossière ou en menus fragments.

Ils proviennent de déblais laissés sur le carreau de l'exploitation.

On a dosé :

Échantillon 1	Phosphate tribasique de chaux :	27,90 p. 100.
— 2	—	42,90
— 3	—	41,50
— 4	—	40,14
— 5	—	41,00
— 6	—	41,00
— 7	—	28,16
— 8	—	28,16
— 9	—	23,50
— 10	—	39,93
— 11	—	26,33

2° *Phosphates de chaux.* — Deux échantillons provenant d'Inkermann et remis par la Société exploitante.

N° 1. Formé de débris de roches.

N° 2. Terre phosphatée.

Trouvée p. 100 :

	N° 1.	N° 2.
Phosphate tribasique de chaux	66,62	42,94

3° *Phosphate de chaux.* — Échantillon provenant des environs d'Oran et remis par M. Lepré.

L'échantillon est en morceaux d'aspect légèrement nacré ou cireux avec taches brunes.

Trouvé :

Phosphate tribasique de chaux	65,75 p. 100.
---	---------------

NOTE

SUR LA

CONSTITUTION DU MIDI DU BASSIN HOUILLER
DE VALENCIENNES

(PARTIE COMPRISE DANS LE DÉPARTEMENT DU NORD)

Par M. CHAPUY, Ingénieur des mines.

La remarquable étude de M. l'ingénieur en chef Bertrand, parue en 1894 dans les *Annales des mines* (*), a appelé tout particulièrement l'attention sur la constitution de la partie méridionale du bassin houiller de Valenciennes, en faisant entrevoir l'existence possible, au sud des concessions exploitées par les compagnies d'Anzin, de Douchy, d'Azincourt, d'Aniche, d'une bande de terrain houiller, dont la largeur atteindrait environ 5 kilomètres, sous une nappe de recouvrement de terrains plus anciens. L'objet de la présente note est de résumer succinctement quels sont, parmi les travaux effectués soit à l'intérieur, soit en dehors des différentes concessions, depuis la publication de l'étude du bassin houiller de Valenciennes de M. l'ingénieur en chef Olry (1886), ceux qui fournissent quelques renseignements nouveaux sur l'allure du midi du bassin et d'examiner comment les faits s'accordent avec les différentes hypothèses émises.

(*) 1^{er} vol. de 1894, 6^e livr., p. 569-635.

Sondages. — Il n'a été entrepris, dans ces dernières années, au midi du bassin de Valenciennes, dans le département du Nord, qu'un petit nombre de sondages, dont nous indiquons les emplacements sur la *fig. 1*, Pl. III, qui est reproduite, telle que l'a tracée M. Olry, la limite de l'affleurement du terrain houiller aux morts terrains. Nous énumérons ci-après ces sondages en allant de l'ouest à l'est, à partir de la concession de l'Escarpelle.

Sondage de Monchecourt. — Ce sondage, entrepris par la Société des mines de houille de Bouchain, à une cinquantaine de mètres environ de l'ancienne fosse de recherche de Monchecourt, se trouve à 200 mètres de la station de Monchecourt et à près de 1 kilomètre au sud de l'affleurement du terrain houiller au tourtia. Il est sorti des morts terrains à 116 mètres de profondeur et a pénétré dans des grès rougeâtres et verdâtres, vraisemblablement du dévonien inférieur, auxquels ont succédé, vers 240 mètres, des calcaires tantôt blanchâtres, tantôt verdâtres, paraissant appartenir au calcaire carbonifère, dans lesquels le sondage est resté jusqu'à la profondeur de 603 mètres, à laquelle il a été arrêté le 26 décembre 1892.

Ce sondage paraît avoir rencontré la grande faille du midi, puisqu'il a rencontré le dévonien inférieur avant le calcaire carbonifère, d'après les renseignements ci-dessus.

Sondage de Bouchain. — Ce sondage, entrepris en 1891 par MM. Lesur et C^{ie}, à Bouchain, à côté de la route nationale de Rouen à Valenciennes, a été arrêté, le 4 février 1892, à la profondeur de 179^m,84, par suite du coincement du trépan. Après avoir traversé 5 mètres de terrains récents et 79 mètres de crétacé, il avait pé-

(*) Une demande de concession présentée par la Société des mines de Bouchain et basée sur le sondage de Monchecourt, a été définitivement rejetée par décret du 15 mai 1893.

nétré dans des schistes et grès rouges, gris et jaunes, attribués au dévonien inférieur.

La même Société avait aussi commencé, à Noyelles-sur-Escaut, un sondage qui a été arrêté à une faible profondeur (*).

Sondage de Neuville. — Mentionnons ensuite le sondage de Neuville, effectué par la compagnie des mines de Douchy, en 1889, lequel était situé à 1.000 mètres environ au sud de la fosse Désirée, et qui était destiné à éclairer la recherche entreprise ultérieurement par galerie au midi de cette fosse et dont il sera question plus loin. Ce sondage a été arrêté à la profondeur de 118 mètres dans le terrain houiller.

Sur la carte de M. Olry, la limite du terrain houiller au tourtia est tracée à 800 mètres au sud de la fosse Désirée; le sondage de Neuville montre qu'elle doit être reportée à une certaine distance au sud.

Sondage d'Estreux de la Compagnie de Crespin. — Un sondage a été entrepris par la Compagnie concessionnaire des mines de Crespin, en dehors de sa concession, à proximité de l'ancienne fosse d'Estreux, abandonnée dans le dévonien au siècle dernier. Ce sondage, commencé en décembre 1891, a traversé 87^m,30 de morts terrains (dont 38 mètres de dièves) avant d'entrer dans des grès multicolores, vraisemblablement dévoniens, dans lesquels il est resté jusqu'à la profondeur de 283 mètres. Il est actuellement, non pas abandonné, mais momentanément suspendu, au dire du personnel de la Compagnie de Crespin.

Sondage d'Estreux de MM. Hermary, Breton et consorts (Société de recherches d'Estreux). — Cette Société fait actuellement à Estreux un autre sondage à peu de dis-

(*) Une demande en concession basée sur ces sondages a également été rejetée.

tance du précédent. Après avoir été momentanément interrompu, à la profondeur de 113 mètres, par un accident de trépan, il a été repris et atteint actuellement (12 juin 1895) la profondeur de 124 mètres. On est depuis une dizaine de mètres dans des grès multicolores présentant tous les caractères du dévonien inférieur.

Galleries dirigées vers le bord méridional du bassin houiller. — Quelques galeries à travers bancs, ou bowettes, ont fourni dans ces derniers temps des renseignements intéressants sur le midi du bassin du Nord.

Bowette du midi à l'étage de 311 mètres de la fosse de Dechy de la concession d'Aniche. — Cette bowette a tout récemment (avril 1895) recoupé le calcaire. La *fig. 2*, Pl. III, donne la coupe de cette bowette, qui présente de l'intérêt à divers points de vue et sur laquelle nous reviendrons à plusieurs reprises. La *fig. 3*, Pl. III, représente à l'échelle de 1/50 les premiers mètres de terrain calcaire recoupés. Au delà, on a continué à trouver une alternance de schistes et de bancs calcareux.

Le calcaire a été rencontré à 1.342 mètres du puits, en stratification bien concordante avec le terrain houiller, sans aucune faille au contact, avec un pendage de 45° environ vers le sud. Quelques échantillons de calcaire contenaient des fossiles peu nets paraissant appartenir au *Productus carbonarius*, caractéristique du houiller inférieur. Les 80 derniers mètres de schistes houillers recoupés avant le calcaire étaient absolument stériles; la cassure en était mate et à grain noir et fin.

Les dernières passées charbonneuses recoupées tenaient de 22 à 23 p. 100 de matières volatiles. Elles étaient renversées comme celles qui les précédaient.

La rencontre du calcaire par cette bowette fixe avec précision un point de la limite de l'affleurement du terrain houiller au tourtia. Si on prolonge le calcaire avec

l'inclinaison de 45° jusqu'au tourtia qui est à 180 mètres de profondeur, l'intersection a lieu à 1.211 mètres du puits, soit environ 600 mètres au nord du tracé indiqué par la carte de M. Olry.

Nous appellerons ici l'attention sur la grande analogie des conditions dans lesquelles le calcaire a été recoupé par la bowette de la fosse de Dechy avec celles de la même rencontre au midi de la concession d'Azincourt par les fosses Saint-Édouard, Saint-Auguste et d'Étroeungt(*). Le calcaire y a de même été reconnu en stratification concordante avec le terrain houiller, sans apparence de faille au contact, avec un pendage de 50 à 60° vers le sud. Nous insisterons plus loin sur l'argument qu'on peut en tirer contre l'hypothèse du prolongement du bassin au midi sous une nappe de terrains anciens.

Bowette midi de l'étage de 510 de la fosse Désirée de la concession de Douchy. — A la suite du sondage de Neuville, la Compagnie de Douchy a entrepris, à l'étage de 510 de la fosse Désirée, une recherche au midi, qui est actuellement en cours d'exécution. Une galerie avait déjà été poussée anciennement au niveau de 125 jusqu'à 800 mètres du puits environ au midi et n'avait guère rencontré que des passées de charbon. On a pensé que ce niveau était trop voisin du tourtia pour que cette dernière recherche pût être considérée comme concluante et on creuse actuellement, à la profondeur de 510 mètres, une nouvelle bowette, avec l'intention de la pousser à grande distance.

La *fig. 4*, Pl. III, donne la coupe longitudinale de cette bowette, qui a actuellement dépassé 700 mètres de longueur; elle figure le raccordement hypothétique avec les terrains reconnus au niveau de 125 mètres, d'après les ingénieurs de la Compagnie de Douchy. On a recoupé

(*) Olry, *loc. cit.*, p. 352 et suiv.

jusqu'à 500 mètres du puits un certain nombre de passées de charbon, dont la teneur en matières volatiles oscille autour de 20 p. 100, puis, vers 600 mètres, quatre veines très voisines, sur la puissance desquelles il est difficile de se prononcer, attendu que la bowette a rencontré la dernière dans une partie en crochon et que les autres sont par conséquent très voisines aussi de crochons. Or, les veines présentent souvent soit un renflement, soit un amincissement aux abords d'accidents de cette nature.

Quant à la teneur en matières volatiles, ces quatre veines ont fourni à l'analyse respectivement 31,10-23,10-19,35-17 p. 100 (une première analyse avait donné 15,22 p. 100 pour la dernière veine. Plusieurs essais ultérieurs ont rectifié ce chiffre et fourni en moyenne celui de 17 p. 100).

Quoi qu'il en soit, les résultats de cette recherche paraissent jusqu'ici confirmer qu'à Douchy, comme à Azincourt et Aniche, les charbons demi-gras et trois quarts gras (17 à 22 p. 100 de matières volatiles) exploités vers le milieu du bassin, ne se retrouvent pas, ou sont à peine représentés, entre les charbons gras à coke exploités dans ces concessions et le calcaire qui limite au midi l'affleurement du bassin au tourtia.

Les dernières veines rencontrées dans la bowette de la fosse Désirée sont peut-être le prolongement des veines du groupe de Marly et de la Citadelle, auquel M. Olry pense que se rattachent (*) les veines Laure, Auguste et Julienne d'Azincourt, lesquelles ne constituent vraisemblablement qu'une seule et même veine. Dans ce cas, on aurait peu de chances de trouver autre chose que des passées sans importance avant d'atteindre le calcaire.

Travaux divers fournissant des renseignements sur la

(*) *Loc. cit.*, p. 363.

constitution du midi du bassin du Nord, notamment sur le cran de retour. — D'après l'hypothèse de M. l'ingénieur en chef Bertrand, on devrait considérer la faille connue sous le nom de *cran de retour* non pas comme une faille d'affaissement proprement dite, dans laquelle le toit serait descendu par rapport au mur (ou le mur monté par rapport au toit), suivant la règle de Schmidt, mais comme une surface de charriage suivant laquelle toute la partie du bassin connue au sud de cet accident aurait été refoulée sur le bassin en place, après avoir été arrachée au véritable bord méridional du bassin. Suivant M. Bertrand, le cran de retour ainsi entendu se dévierait vers le nord-ouest, à l'intérieur de la concession d'Aniche et serait représenté par la zone de brouillages qui traverse le gisement des fosses Saint-René, Dechy, Notre-Dame de la concession d'Aniche, de telle sorte que les veines connues au midi de ces brouillages feraient partie d'un immense lambeau de poussée, qui comprendrait la totalité des gisements exploités dans les concessions d'Azincourt et de Douchy et dans la région de Denain.

Divers travaux d'exploitation, sans permettre de se prononcer avec une complète certitude sur la réalité dans le Nord du phénomène de transport énoncé, jettent cependant un certain jour sur la question, en démontrant qu'en tous cas, on ne peut admettre le tracé indiqué ci-dessus pour la surface de charriage présumée.

Travaux de la région de Douai dans les concessions d'Aniche et de l'Escarpelle. — On sait que la Compagnie d'Aniche exploite, d'une part, dans la région de Douai, des charbons trois-quarts-gras et gras par les fosses Saint-René, Dechy, Notre-Dame, Gayant; d'autre part, dans sa division d'Aniche (ainsi que dans la fosse Bernicourt de la division de Douai) des charbons demi-gras

et quart-gras. Le faisceau trois-quarts-gras et gras a été autrefois exploité dans la division d'Aniche par des fosses situées plus au sud, aujourd'hui abandonnées.

Il est exact qu'aux fosses Saint-René et Dechy on a traversé, en se dirigeant vers le midi, une zone de brouillages très caractérisée.

La *fig. 2*, Pl. III, qui donne la coupe de la bowette de 311 de la fosse de Dechy, montre la position de cette zone (*). Les veines situées au nord de la zone de brouillages sont en plat et ont une teneur en matières volatiles de 23 à 24 p. 100. Celles que l'on rencontre au sud sont renversées (c'est-à-dire présentent le mur géologique au toit), et tiennent de 26 à 28 p. 100 de matières volatiles.

Il en est sensiblement de même à la fosse Saint-René, mais non à la fosse Notre-Dame, où, notamment à l'étage de 341, cette zone de brouillages ne se retrouve plus guère. La *fig. 1*, Pl. IV, donne la coupe des bowettes du midi de cette dernière fosse. On y a rencontré jusqu'à la veine Claire, tant à 281 qu'à 341 mètres, un certain nombre d'accidents peu importants et qui ne sauraient être assimilés à la faille de transport, les terrains conservant au delà les mêmes caractères, notamment le même pendage et les veines restant en plat sans variation brusque de teneur en matières volatiles. A partir de la veine Claire, dont on a reconnu et presque entièrement exploité le fond de bateau par l'étage de 341, les terrains sont en

(*) Nous ferons ici, une fois pour toutes, l'observation que des figures à aussi petite échelle que celles qui sont annexées à la présente note, ne peuvent évidemment pas rendre compte de l'importance, encore moins de l'allure d'accidents tels que ceux dont il est question. Leur seul but est de permettre de mieux suivre notre argumentation, qui est basée, d'une part, sur les coupes et plans détaillés à grande échelle que nous avons consultés dans les bureaux des Compagnies, et, d'autre part, sur l'examen des lieux, lorsque, comme c'est le cas de la plupart des bowettes, il n'a pas été nécessaire de maçonner les parois.

dressant et les veines que l'on rencontre au delà appartiennent manifestement au même faisceau que les veines renversées des fosses Dechy et Saint-René (voir *fig. 2*, Pl. IV), bien qu'on ne les ait pas encore identifiées avec certitude.

On ne voit guère dans ces conditions où faire passer le grand accident reconnu aux deux fosses précédentes. Sa trace la plus probable paraît être le cran indiqué sur la coupe *fig. 1*, Pl. IV, contre lequel vient buter au nord le plat de la veine Claire. Or, ce dernier accident paraît bien peu de chose pour correspondre à la surface de charriage d'un immense lambeau de poussée. On ne s'expliquerait pas qu'elle se soit traduite aux fosses voisines de Dechy et Notre-Dame par des apparences si différentes, tandis qu'on n'éprouve aucune difficulté à concevoir une faille qui aurait occasionné dans la région de Dechy et Saint-René une dislocation importante avec affaissement relatif de la partie méridionale, mais dont l'effet irait en diminuant à l'ouest, où l'on se rapproche d'ailleurs du bord du bassin.

Il faut remarquer au surplus que les teneurs en matières volatiles des veines recoupées par la bowette de Notre-Dame vont graduellement en augmentant sans saut brusque jusqu'à Claire qui en a 32 à 33 p. 100. C'est ainsi que la veine n° 9, en plateure, qui précède Claire, tient 29 p. 100 de matières volatiles, la veine n° 7, rencontrée avant, 27 p. 100, etc. Au delà de Claire, la teneur diminue : Germaine n'a plus que 31 p. 100 de matières volatiles.

Ces apparences, on ne peut le nier, concordent parfaitement avec l'hypothèse que toutes ces veines appartiennent à un seul et même faisceau, simplement replié au midi par la poussée du calcaire. Nous ne voulons pas dire par là que la veine Germaine, par exemple, soit la continuation certaine d'une veine rencontrée au nord de

Claire : il a pu se produire un certain affaissement suivant l'accident que nous mentionnons plus haut, ou suivant d'autres, et on conçoit que les érosions aient pu faire disparaître la continuation des plateures des veines Claire, Germaine, etc., au nord de cette faille. Les veines qui font suite à Claire n'en appartiendraient pas moins à la même cuvette que celles situées au nord, ce qui est le point important.

Nous allons montrer qu'on trouve une confirmation de cette manière de voir, en ce qui concerne la division de Douai de la concession d'Aniche, dans la correspondance des veines de cette région avec celles qu'on exploite dans la concession d'Escarpelle.

La continuité du faisceau exploité au nord de l'accident assimilé au cran de retour aux fosses Saint-René, Dechy, Notre-Dame et Gayant, avec les veines des fosses n°s 4 et 5 de l'Escarpelle, ne fait aucun doute. Les travaux ont d'ailleurs établi dans ces veines des communications entre les différentes fosses. Un coup d'œil sur la *fig. 2*, Pl. IV, suffit à faire ressortir cette continuité.

Si l'on considère d'ailleurs une coupe transversale du gisement de l'Escarpelle, par exemple suivant CDEFGH du plan de la *fig. 2*, Pl. IV, coupe représentée *fig. 3*, Pl. IV, on obtient exactement les mêmes apparences que dans les coupes des bowettes des fosses de la concession d'Aniche, notamment celle de Notre-Dame (*fig. 1*, Pl. IV). En partant du nord on rencontre d'abord des veines en plat, dont la teneur en matières volatiles va graduellement en augmentant, puis, après une dernière veine en fond de bateau, des veines en dressant dont la teneur en matières volatiles va en diminuant jusqu'à la veine Bleue, où elle est de 22,77 p. 100.

Or, là, il n'y a aucun doute possible sur l'identité de la série des veines en plat avec celles en dressant, attendu qu'elles se rejoignent au couchant en dessinant

un grand pli que les travaux d'exploitation ont entièrement suivi. C'est un nouvel argument bien fort pour qu'aux fosses voisines de la concession d'Aniche, les veines renversées appartiennent au même faisceau que les veines en plat. On voit au surplus sur la *fig. 2*, Pl. IV, que les veines Claire et Germaine paraissent bien s'emboîter au couchant dans le grand pli du faisceau de la fosse n° 4 de l'Escarpelle.

Au delà de la veine Bleue à peu de distance, on croit qu'on a rencontré le calcaire en concordance de stratification avec le terrain houiller. La bowette ayant alors été interrompue, il n'est pas possible de dire, avec une absolue certitude, si ce calcaire représentait le bord du bassin. Mais cela nous paraît probable, étant donnée la rencontre de ce bord à la fosse de Dechy.

En vue d'aller au-devant d'une objection possible, nous devons signaler que les veines renversées n°s 2, 3, 4, 5 et 6, de la fosse n° 4 de l'Escarpelle sont, il est vrai, venues buter au levant contre un accident qu'on n'a pas traversé dans cette direction à l'étage de 334 mètres. Ne pourrait-on pas y voir la continuation de la prétendue surface de charriage des fosses Saint-René, Dechy, Notre-Dame? Nous ne croyons pas qu'on puisse le soutenir : tout porte à penser qu'on est simplement en présence d'un accident local, analogue à beaucoup d'autres du gisement de l'Escarpelle. On a, en effet, traversé cet accident dans la bowette de 334 avant d'atteindre la veine n° 13 et la veine Bleue. Comme ces dernières veines, qui ne tiennent d'ailleurs que 23 et 22 p. 100 de matières volatiles, se raccordent manifestement elles-mêmes avec les veines de la fosse n° 3 (sans toutefois que l'identification soit faite), on ne peut pas mettre en doute qu'elles appartiennent au même faisceau et on ne saurait donc voir dans l'accident en question autre chose qu'une faille ordinaire ayant affecté cette partie du gisement.

Si maintenant on remonte plus au nord dans le faisceau des veines de l'Escarpelle, on ne rencontre, dans cette région explorée par de nombreux travaux, aucun grand accident longitudinal susceptible *a priori* d'être assimilé au cran de retour, avant le mur de la veine 28. La teneur en matières volatiles passe d'environ 20 p. 100 pour la veine 28, à 17 p. 100 pour la suivante, la veine du Nord.

Les ingénieurs de la compagnie de l'Escarpelle appellent aussi cet accident le cran de retour de leur concession. Mais il est manifeste qu'on ne peut plus lui attribuer le sens que M. Bertrand donne au cran de retour d'Anzin. L'accident en question de l'Escarpelle se continue en effet dans la concession d'Aniche et sa trace est marquée par la zone brouillée qu'a traversée la bowette nord de la fosse Bernicourt avant d'atteindre la veine Jacques. Il laisse donc au midi tout le gisement des fosses Gayant, Notre-Dame, Dechy, Saint-René, c'est-à-dire toutes les veines de charbons trois-quarts-gras et de charbons à coke, qui se présentent toutes en plat avec un pendage régulier et appartiennent sans contredit à la cuvette houillère en place.

En résumé, l'allure générale des veines de la région de Douai et les différents faits particuliers que nous venons d'indiquer, nous paraissent démontrer que la zone de brouillages rencontrée par les fosses Saint-René, Dechy et Notre-Dame, ne saurait être assimilée à une surface de charriage séparant un lambeau de poussée de la cuvette proprement dite. Cette zone de brouillages ne serait pas autre chose qu'un accident ordinaire ayant déterminé un mouvement relatif de descente du toit par rapport au mur, plus accentué d'ailleurs vers l'est, et les veines exploitées au midi de cet accident appartiendraient réellement à la cuvette houillère proprement dite, qui affecterait bien dans cette région la forme, indiquée par

M. Olry, d'un U dont les deux branches plongent vers le sud-ouest.

Avant de passer aux travaux des concessions situées à l'Est de celle d'Aniche, il nous paraît intéressant de présenter encore deux observations se rattachant à la rencontre du calcaire par la bowette du midi de la fosse de Dechy à l'étage de 311 :

1° Cette constatation, nous l'avons dit, permet de déterminer avec précision un point de la limite de l'affleurement du terrain houiller au tourtia, qui se trouve à 600 mètres au nord du tracé présumé de M. Olry. Or, d'autre part, au midi de la fosse Notre-Dame, à l'étage de 341, l'extrémité des travaux de la veine Germaine se trouve déjà à 2.400 mètres du puits, ce qui correspond sensiblement à la limite du terrain houiller au tourtia de la carte de M. Olry. Comme ce dernier point est peu distant de celui où le calcaire a été rencontré à Dechy (voir *fig. 2*, Pl. IV), il en résulte que l'on doit rectifier la limite dans cette région en lui faisant décrire une inflexion prononcée vers le nord.

C'est un fait qui mérite d'être rapproché de l'insuccès de la fosse de Roucourt, située plus à l'est et qui a été abandonnée sans avoir rencontré le terrain houiller, bien qu'on ait attribué au houiller (non sans contestation possible) une carotte retirée d'un sondage effectué un peu au sud. Les terrains rencontrés à Roucourt étaient, il est vrai, tout autres et consistaient en un conglomérat, postérieur à l'époque houillère, dont le contour au nord a été bien déterminé par les bowettes du midi des fosses de Dechy et Saint-René, qui l'ont recoupé au delà d'une dernière veine dite veine du Bout, à 30 p. 100 de matières volatiles (voir *fig. 2*, Pl. IV). Mais la rectification de la limite du calcaire que nous venons d'indiquer diminue sensiblement les chances de retrouver le terrain houiller en profondeur à la fosse de Roucourt au-dessous du conglomérat.

2° A supposer l'hypothèse de M. Bertrand exacte, la forte inclinaison du calcaire, rencontré par la bowette de Dechy, tendrait à prouver que ce n'est qu'à une grande profondeur qu'on pourrait retrouver le prolongement du bassin sous les terrains anciens, quand bien même la nappe de recouvrement se relèverait un peu à une certaine distance. Il n'est pas indifférent non plus de rappeler l'insuccès de presque toutes les exploitations entreprises au midi du bassin de Mons, par suite de l'irrégularité du gisement causée par les nombreux plissements des veines. Aussi, nous paraît-il utile d'insister accessoirement sur le caractère aléatoire qui résulterait, *au point de vue industriel*, de cette double considération, pour les travaux de recherches qu'on pourrait tenter au sud de la lisière du bassin actuellement connu, sur la foi de l'hypothèse en question.

Travaux de la fosse Saint-Mark de la Compagnie d'Anzin. — La fosse Saint-Mark, dont nous avons indiqué l'emplacement sur la *fig. 1*, Pl. III, est située dans l'intervalle compris entre l'affleurement au tourtia du cran de retour et de la faille d'Abscon, à 3 kilomètres environ de la limite de concession d'Aniche. Les travaux de cette fosse, dont la bowette du niveau de 400 mètres vient précisément de traverser ces deux accidents, fournissent des renseignements intéressants sur le rôle qu'il convient de leur attribuer.

La *fig. 4*, Pl. IV représente la coupe des terrains reconnus. Le cran de retour CC se présente comme une faille nette avec un remplissage de quelques centimètres. Il se continue à 400 mètres avec la même inclinaison qu'aux étages supérieurs, de 40° environ. Au toit, on trouve immédiatement et sur toute la hauteur, des terrains réguliers, qui présentent une complète analogie d'allure avec ceux du mur et qui contiennent une série de veines et de

passées renversées, mais régulières, dont la teneur en matières volatiles est peu différente de celle des veines exploitées au mur. C'est ainsi que Scipion a environ 20 p. 100 de matières volatiles, tandis que la première veine du sud en tient 17 p. 100.

Ces apparences ne s'accordent nullement avec l'assimilation du cran de retour à une surface de charriage, suivant laquelle le lambeau de poussée supposé aurait été amené d'une distance considérable sur la cuvette en place : on ne concevrait pas cette régularité et cette analogie des terrains des deux côtés de ce cette surface. Au contraire, on a là tous les caractères d'une faille d'affaissement, *d'un accident d'envoyage*, comme on en connaît tant dans le bassin et par suite duquel il se serait produit, après la formation d'un pli, un rejet d'une des branches par rapport à l'autre.

Cette interprétation du cran de retour est confirmée par ce fait qu'à l'étage de 400 mètres, on a constaté qu'au toit de la faille, deux des veines, Sorel-Hocquart et d'Heursel, se remettent en plat et viennent buter contre la faille, comme l'indique la *fig. 4*, Pl. IV. On a là une preuve, semble-t-il, que le toit est bien réellement descendu par rapport au mur (ou le mur monté par rapport au toit et que, si les érosions ne les avaient fait disparaître, ces veines se retrouveraient au-dessus des veines connues au mur, à quelques centaines de mètres seulement suivant la normale si on s'en rapporte à la différence de teneur en matières volatiles.

En continuant vers le midi, la bowette de l'étage de 400 de Saint-Mark a pénétré, au delà de la veine Scipion, dans des terrains extrêmement tourmentés et broyés, à tel point qu'on a dû murailles complètement les parois de la galerie sur une grandelongueur. Cette zone brouillée, déjà rencontrée aux étages supérieurs, correspond au passage de l'accident qu'on a appelé faille d'Abscon. La

première passée qu'on y rencontre tient 26 p. 100 de matières volatiles ; les terrains restent d'ailleurs bouleversés jusqu'à une grande distance, d'après ce qui a été reconnu aux étages supérieurs.

Il nous paraît résulter de là que, si on veut accepter l'hypothèse de M. Bertrand, on doit au moins la modifier en assignant à la faille d'Abscon le rôle attribué au cran de retour. Nous avons indiqué sur la *fig. 4*, Pl. IV, quelle serait sensiblement la trace de la surface de charriage dans cette dernière hypothèse.

La faille d'Abscon est d'ailleurs moins connue à l'est que le cran de retour. D'après la carte de M. Olry (*), leurs traces convergent vers l'est, tandis qu'au couchant, au contraire, leur écartement va en augmentant.

M. Olry a indiqué le passage présumé du cran de retour dans le gisement des charbons demi-gras d'Aniche, entre la veine Ferdinand et les veines Henriette, Clémence, Aglaé (voir *fig. 5*, Pl. IV). Avec l'hypothèse de M. Bertrand, modifiée comme nous venons de l'indiquer, il devient intéressant de déterminer la trace de la faille d'Abscon à l'ouest de la concession d'Anzin. Étant donnée sa direction à l'intérieur de cette dernière concession, elle doit se prolonger au sud des veines Henriette, Clémence, Aglaé, reconnues en plat et en dressant, et passer entre ces veines et celles de la fosse Saint-Auguste d'Azincourt. Au delà, le tracé le plus naturel conduirait (*fig. 6*, Pl. IV), entre l'ancienne fosse Saint-Hyacinthe et celles de Sainte-Barbe et de l'Espérance, les veines grasses de cette dernière fosse paraissant se raccorder avec celles de la fosse Saint-Roch d'Azincourt ; on arriverait ainsi aux environs de la fosse de Roucourt, où on atteindrait le bord du bassin.

Telle est la manière dont il conviendrait, semble-t-il,

(*) Olry, *loc. cit.*, pl. VII.

de modifier l'hypothèse émise par M. Bertrand, si on admettait, comme faille de transport, la faille d'Abscon. Encore resterait-il à voir si la faille d'Abscon, relativement peu connue, est un accident assez continu pour qu'on puisse lui attribuer ce rôle. Nous croyons, en outre, devoir formuler maintenant, contre le fond même de l'hypothèse, quelques objections tirées des faits exposés jusqu'ici :

1° Nous croyons avoir démontré que le gisement de Douai en entier doit être considéré comme en place, tandis que, si on assimile la faille d'Abscon à une grande surface de charriage, toute la partie du bassin, actuellement connue au sud de cet accident, constituerait un lambeau de poussée, arraché du véritable bord méridional du bassin et apporté sur la cuvette en place. La totalité du gisement de la concession d'Azincourt, exploité jusqu'à ce jour, appartiendrait dès lors au lambeau de poussée. Or, nous avons dit plus haut que, par la bowette de l'étage de 311 de la fosse de Dechy, on a rencontré le calcaire exactement dans les mêmes conditions qu'aux trois fosses Saint-Auguste, Sainte-Marie et d'Etrœungt d'Azincourt, savoir : même pendage d'environ 45° au sud et stratification concordante du calcaire avec le terrain houiller, sans apparence d'aucune faille au contact. La teneur en matières volatiles des dernières veines rencontrées avant le calcaire, concorde également bien : à Dechy, on n'a trouvé, après les charbons gras de 26 à 28 p. 100 de matières volatiles, que quelques passées tenant de 22 à 23 p. 100. A Azincourt, on n'a, au midi des veines grasses de 26 à 28 p. 100 de matières volatiles, qu'une seule veine, Louise ou Auguste, qui doit, semble-t-il, être identifiée avec Julienne de Saint-Roch et au delà quelques passées. Ne serait-il pas surprenant qu'il en soit ainsi, si, à Dechy, d'une part, on avait atteint le

véritable bord du bassin, tandis qu'à Azincourt, on serait dans le lambeau de poussée ?

2° On serait tenté, à première vue, de s'étonner, comme l'a fait remarquer M. Bertrand, que le bassin houiller soit jalonné dans son milieu, sur toute sa longueur, d'une succession de failles d'affaissement suivant la loi de Schmidt, alors que la poussée des terrains anciens du midi est incontestable, en dehors de toute hypothèse, soit qu'elle ait seulement replié la cuvette en forme d'U incliné, soit qu'elle ait produit un vaste recouvrement comme dans la région de Charleroi. On ne peut toutefois que s'incliner devant les faits : la constatation de la fosse Saint-Mark, relatée plus haut, semble prouver que le cran de retour est bien une véritable faille d'affaissement ; il en est de même, nous croyons l'avoir établi, des accidents improprement appelés aussi cran de retour, qui traversent le gisement de Douai des Compagnies d'Aniche et de l'Escarpelle.

Dans le bassin du Pas-de-Calais, d'ailleurs, on voit coexister avec des failles de transport, suivant lesquelles se sont opérés de grands mouvements de poussée et de charriage, des failles d'affaissement avec descente du toit. Mais les premières sont en général peu inclinées sur l'horizon, tandis que les dernières se rapprochent de la verticale et paraissent souvent traverser les premières. Le mouvement de poussée s'étant effectué sous un angle faible, on conçoit que des failles d'affaissement aient néanmoins pu se produire ensuite sous l'action prépondérante de la gravité.

On peut d'ailleurs retourner l'argument en s'appuyant sur les constatations faites à la fosse Saint-Mark. L'allure des veines recoupées paraît démontrer, avons-nous dit, que le cran de retour est réellement une faille d'affaissement avec descente relative du toit par rapport au mur. Or, la faille d'Abscon n'est située qu'à quelques centaines

de mètres plus au sud, cet intervalle diminuant progressivement à l'est, et son inclinaison, dans la partie où elle est connue, est peu différente de celle du cran de retour. Ne devrait-on pas, à plus juste titre, s'étonner qu'une faille d'affaissement se soit produite au mur de la faille d'Abscon à si peu de distance et presque parallèlement, si celle-ci était une faille de transport suivant laquelle un énorme charriage se serait produit en sens inverse? Et n'y a-t-il pas là une présomption sérieuse pour considérer aussi la faille d'Abscon comme une faille d'affaissement, conformément aux apparences mêmes qu'elle présente?

3° Nous ferons enfin une dernière observation relativement à l'argument que M. Bertrand a tiré en faveur de sa thèse de l'absence de charbons demi-gras et maigres dans la partie méridionale du bassin du Nord actuellement connue. L'objection tombe si l'on admet que, dans la région de Douai, on a intégralement la cuvette en place, puisque là, comme le montre la brette de Dechy, le faisceau des charbons gras repose directement sur le calcaire. On a ainsi la preuve que les formations demi-grasses et maigres ne se sont pas étendues jusqu'au bord méridional du bassin.

Si, au surplus, on faisait abstraction de la constatation récente de la fosse de Dechy, la portée de l'argument nous paraîtrait néanmoins bien amoindrie du fait que, dans la concession d'Azincourt, les dernières veines rencontrées avant le calcaire sont encore de charbons à coke ou au moins trois-quart-gras. Le calcaire ayant été trouvé en stratification concordante, sans apparence de faille au contact, on devrait admettre, dans l'hypothèse de M. Bertrand, que le lambeau de poussée serait constitué par un fragment complet de cuvette, comprenant le fond calcaire sur lequel reposait le terrain houiller; et, par conséquent, force serait encore d'admettre que les

formations de charbons demi-gras et maigres y ont fait défaut. Or, il n'est guère plus difficile de concevoir que ces formations ne se soient pas étendues jusqu'au bord méridional du bassin, en lui attribuant la largeur actuellement connue, d'environ 12 kilomètres, qu'en lui supposant 5 kilomètres de plus. En direction, on ne constate, en général, de variation importante dans la puissance des veines que sur des distances bien plus considérables.

Nous ne voyons d'ailleurs aucune difficulté à concevoir qu'à l'époque où s'est formée la houille, la cuvette de dépôt ait subi des déplacements qui se soient traduits par l'absence de certaines formations dans telle ou telle région.

Les travaux d'exploitation des concessions du Pas-de-Calais notamment, tendent de plus en plus à confirmer cette manière de voir. Ce serait, croyons-nous, s'exposer à de graves mécomptes dans l'avenir, que d'espérer trouver en tout point du bassin houiller, au-dessous des couches connues, toute la série des couches géologiquement inférieures.

Travaux de la concession de Crespin. — La concession de Crespin exploite, on le sait, le prolongement de ce qu'on appelle en langage courant le bassin de Dour. Les veines actuellement connues et exploitées tiennent 36 à 38 p. 100 de matières volatiles. D'après leur flore, elles sont postérieures à toutes celles du bassin du Nord et correspondent à celle de la zone supérieure du bassin du Pas-de-Calais.

Le terrain houiller forme en apparence une sorte de prisme plongeant à l'ouest sous les terrains anciens et déterminé par deux failles dites faille Eifelienne ou grande faille du Midi et faille de Boussu. Le phénomène de charriage des terrains anciens sur le terrain houiller est incontestable dans cette région. Il est établi que l'arête

de Boussu, qui paraît séparer le bassin de Dour du bassin principal, n'est autre chose que le reste d'une nappe de recouvrement amenée du midi sur le terrain houiller. La faille Eifélienne et la faille de Boussu représentent précisément la surface de charriage suivant laquelle les terrains anciens ont été amenés sur le terrain houiller.

La *fig. 7*, Pl. IV donne la coupe N.-S. du gisement de la fosse de Quiévreachain, coupe que le creusement du puits n° 2 d'aérage, commencé en 1889 et terminé en 1894, a confirmée. Le tracé de la grande faille du Midi y est hypothétique. L'exploitation des veines au midi du puits n'a en effet été poussée nulle part jusqu'aux terrains de recouvrement. Au-dessous des morts terrains, on a recoupé dans le puits, avant le terrain houiller en place, des schistes noirs à phtanite, appartenant également au houiller, irrégulièrement stratifiés avec pendage au sud. Un montage de 25 mètres, fait dans Julienne au niveau de 354, est resté dans le terrain houiller régulier avec pendage au nord en plateure géologique. On achève actuellement l'approfondissement du puits à 500 mètres et on compte bowetter au midi jusqu'à 1.000 mètres au moins du puits.

La *fig. 8*, Pl. IV, montre, d'autre part la direction des veines reconnues jusqu'à ce jour par les travaux de la fosse de Quiévreachain, lesquelles plongent au nord. L'exploitation de ces veines n'a malheureusement pas été poussée à plus de 6 à 700 mètres de la frontière. A l'est on s'est arrêté dans la plupart des veines à un plissement qui les ramène en dressant. Dans leur ensemble, elles présentent d'ailleurs de nombreuses ondulations.

Quoi qu'il en soit, ces veines, prolongées avec leur direction moyenne, passeraient aux environs de Valenciennes et non à plusieurs kilomètres au sud, comme l'a indiqué M. Bertrand.

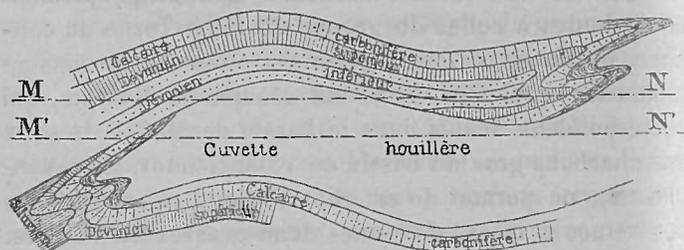
Les travaux de la concession de Crespin ne laissent

aucun doute sur l'existence du terrain houiller sous une nappe de terrains anciens, non seulement entre Quiévreachain et l'affleurement du calcaire au tourtia dans la concession de Saint-Saulve, mais encore au midi de Quiévreachain jusqu'à une certaine distance. Les veines de Quiévreachain étant d'ailleurs stratigraphiquement équivalentes à celles du groupe de Long-Terne du couchant de Mons, on doit espérer retrouver en dessous au moins les quelques veines du groupe de Massets, qui correspondent seules dans le bassin de Mons à la série des charbons gras du bassin de Valenciennes. En revanche rien ne permet de croire à l'existence, en dessous des veines grasses, de veines demi-grasses et maigres, puisque ces derniers charbons ne sont connus ni au midi du bassin de Mons ni au midi du bassin de Valenciennes.

Nous pensons donc, en définitive, que le recouvrement du terrain houiller par une nappe de terrains plus anciens, n'existe, pour le bassin du Nord, que dans une région voisine de la frontière et que les seuls charbons qu'on ait chance d'y trouver sont les charbons flénus de Quiévreachain et, au-dessous, des charbons gras correspondant à ceux de Denain et à ceux de la bordure méridionale du bassin de Mons.

Ajoutons que pour expliquer la discontinuité d'allure que présente le bassin houiller du Nord, tel que nous le concevons, quand on passe du méridien de Quiévreachain au couchant de Valenciennes, on peut supposer que le phénomène de recouvrement reconnu dans la concession de Crespin s'est réellement prolongé au delà, à l'ouest, mais que les érosions l'ont fait disparaître; si l'on considère une coupe transversale du bassin aux abords de Quiévreachain, il suffit de reporter par la pensée le niveau d'arasement par les érosions, plus bas d'une certaine quantité, pour retrouver la coupe qu'on obtient au couchant de Valenciennes.

Reprenons, par exemple, la coupe *fig. 3* du mémoire de M. Bertrand (*Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1894), qui représente théoriquement le pli qui a donné naissance au recouvrement de la cuvette houillère, après affaissement de la partie centrale.



Pour passer de cette coupe théorique à la coupe réelle qu'on obtient un peu à l'est de la fosse de Quiévrechain, il faut supposer le plan d'arasement en MN. Or, il suffit de le reporter un peu plus bas, de MN en M'N', pour retrouver la coupe de la région d'Aniche et d'Azincourt.

Rien n'empêche non plus de supposer que la grande faille du Midi, qui a amené le dévonien sur le calcaire et qui existe sans doute aussi tout le long du bassin du Nord plus au sud (comme le prouve notamment le sondage de Monchecourt), passe assez loin de la lisière du bassin pour que le recouvrement n'ait pas atteint le terrain houiller, ou au moins pour qu'il n'en reste plus trace après dénudation.

Nous ferons remarquer, en terminant, que la rencontre en profondeur de charbon gras par le sondage d'Estreux n'apporterait pas d'argument décisif dans le débat, précisément parce que son emplacement, bien qu'assez éloigné de la fosse de Quiévrechain, permet encore à la rigueur d'espérer que le terrain houiller en profondeur s'est étendu jusque-là, puisqu'on n'a aucune donnée sur la distance à laquelle il se prolonge au sud de ladite fosse.

Il ne faut pas perdre de vue d'ailleurs qu'au levant de la concession d'Azincourt, les travaux d'exploitation n'ont nulle part atteint le bord calcaire du bassin. Le seul renseignement qu'on possède à cet égard provient du sondage effectué au fond de la fosse d'Onnaing (dont l'emplacement est indiqué *fig. 8*, Pl. IV), sondage qui a reconnu le calcaire plongeant au sud avec un pendage de 87° et au-dessous le terrain houiller en dressant. Or, les renseignements fournis par sondage présentent toujours une certaine incertitude. Si l'inclinaison des terrains se détermine assez exactement d'après les carottes retirées, il n'en est pas de même de la direction du pendage; en outre, les failles passent souvent inaperçues dans un sondage. Aussi ne croyons-nous pas qu'on puisse tirer grand parti de la constatation déjà ancienne de la fosse d'Onnaing, dans la discussion des hypothèses qui nous occupent.

Conclusions. — Nous résumerons comme il suit les conclusions que nous croyons pouvoir tirer des faits que nous avons exposés dans la présente note.

L'allure des veines de la division de Douai de la concession d'Aniche et des fosses n^{os} 3, 4 et 5 de celle de l'Escarpelle, avec lesquelles les premières se raccordent, et les caractères des accidents qui les affectent paraissent démontrer qu'elles constituent un même faisceau en place, et qu'on ne saurait nullement considérer comme faisant partie d'un lambeau de poussée, les veines situées, dans la concession d'Aniche, au midi de la zone de brouillages, qui est caractérisée, surtout aux fosses de Dechy et de Saint-Réné.

Cette zone de brouillages aurait réellement produit un affaissement relatif de la partie méridionale de la cuvette. Il en serait de même du cran de retour, dont le rejet

apparent du toit par rapport au mur, suivant la règle de Schmidt, paraît bien être une réalité.

On rencontre à l'ouest de la concession d'Aniche, dans celle de l'Escarpelle et, au delà, dans le Pas-de-Calais, une série d'accidents analogues; et on peut considérer comme une loi générale du bassin du Nord et du Pas-de-Calais, l'existence de ces grandes failles, jalonnant longitudinalement le bassin vers son milieu et déterminant un affaissement relatif de la partie méridionale.

La faille d'Abscon, telle qu'on l'a rencontrée à la fosse Saint-Mark d'Anzin, pourrait, au contraire, à première vue, être prise pour une faille de transport mettant en contact un lambeau de poussée avec la cuvette houillère en place. Mais on trouve des arguments contre cette hypothèse dans un certain nombre de faits, notamment le voisinage et l'analogie d'apparences de la faille d'Abscon et du cran de retour, et la rencontre du calcaire dans des conditions identiques à Azincourt, d'une part, dans le prétendu lambeau de poussée et à la fosse de Dechy d'Aniche, d'autre part, où nous venons de dire que la cuvette houillère, telle que les érosions l'ont laissée, est complète.

On ne saurait d'ailleurs s'appuyer sur l'absence, au midi du bassin actuellement connu, des faisceaux demi-gras et maigre, attendu qu'il paraît résulter des constatations faites jusqu'ici que les formations de charbons gras reposent directement, au midi, sur le fond du bassin, indépendamment de toute hypothèse sur la constitution de son bord méridional.

A l'autre extrémité du bassin du Nord, du côté de la frontière belge, les travaux de la concession de Crespin démontrent que le terrain houiller existe réellement sous une nappe de recouvrement, qui doit s'étendre au sud de la fosse de Quiévreachain, à une certaine distance. On peut prévoir qu'on rencontrera au-dessous des charbons flénus

exploités dans la concession de Crespin, des charbons gras, correspondant à ceux qui existent dans le bassin de Mons au-dessous du faisceau de Long-Terne et dans les diverses concessions du midi du bassin du Nord.

En revanche, les raisons déjà invoquées plus haut rendent peu probable l'existence de charbons demi-gras et maigres au-dessous des charbons gras.

Quant à l'absence, dans le bassin de Valenciennes, des veines que l'on trouve, en Belgique, au-dessus du faisceau de Long-Terne, elle s'expliquerait soit parce que ces formations ne se seraient pas étendues jusque-là, soit parce que les érosions les auraient fait disparaître.

Ces différentes considérations portent en résumé à croire que le recouvrement du terrain houiller par une nappe de terrains anciens se relevant à une certaine distance, n'existe, en ce qui concerne le bassin du Nord, que dans une région voisine de la frontière belge et que, dans la plus grande partie du bassin, le bord méridional, dans l'état où les érosions l'ont laissé, est seulement replié, de manière à plonger au midi.

Le sud du bassin a été exploré jusqu'ici par des travaux trop peu nombreux et trop voisins de la surface, pour qu'on puisse, quant à présent, se prononcer avec certitude sur la question soulevée. Nous n'avons eu d'autre prétention, dans la présente note, que de montrer que les données actuelles paraissent s'accorder mieux avec l'hypothèse que nous avons développée.

NOTE

SUR

QUELQUES EXPÉRIENCES FAITES AU SIÈGE N° 1

DES MINES DE LIÉVIN

POUR

MESURER LA PRESSION DU GRISOU DANS LA HOUILLE

Par M. A. SIMON,
Ingénieur principal aux mines de Liévin.

Au commencement de l'année 1893, nous avons entrepris, au siège n° 1 des mines de Liévin, quelques expériences dans le but d'étudier le régime du grisou dans la houille. Avant de rendre compte des résultats obtenus, nous rappellerons que la question a déjà préoccupé un assez grand nombre d'ingénieurs.

En 1878, MM. Boucher et Soupart ont creusé des trous de sonde dans les couches fortement grisouteuses du couchant de Mons et ont relevé des pressions atteignant 15 et 16 atmosphères.

En 1881, M. Lindsay Wood a publié les résultats d'expériences faites en Angleterre, résultats que l'inspecteur général des mines Mallard a analysés dans les *Annales des Mines* (*). La pression maxima observée a été de 29 atmosphères. M. Lindsay Wood avait en

(*) *Annales des mines*, 1882, t. I.

outre mesuré les volumes de grisou débités par les trous de sonde.

En 1887, trois ingénieurs du Corps des mines de Belgique, MM. Schorn, Watteyne et Macquet, ont publié un travail très étendu sur des observations faites dans divers bassins belges (*). Dans ces essais, on s'est, en général, borné à mesurer la pression au fond de trous de sonde et à suivre ses variations avec le temps et les circonstances.

On sait qu'il est d'usage en Belgique, depuis assez longtemps, de pratiquer des trous de sonde à l'avancement, en vue de prévenir les dégagements instantanés. Mais l'efficacité de ces sondages, au point de vue du drainage du grisou, a quelquefois été mise en doute. Tout récemment, M. Petit, ingénieur principal des houillères de Saint-Étienne, a repris la question à la mine du Treuil (**). Il observe régulièrement la pression et le débit à l'avancement des tailles et il a l'espoir de trouver, dans l'application de cette méthode, des indications qui permettent de prévenir le danger des dégagements inattendus.

Le gisement de Liévin n'a pas produit de dégagement instantané, néanmoins il est assez grisouteux et il nous a paru intéressant de faire quelques observations dans le genre de celles que nous avons rappelées plus haut. Nous les présentons à titre de simple document, en faisant remarquer que le nombre d'expériences est trop restreint pour permettre d'en dégager des conclusions définitives.

Disposition des expériences. — On fore dans la couche, à l'aide d'un perforateur à main, un trou de

(*) *Annales des travaux publics de Belgique*, t. XLIV.

(**) *Bull. Soc. de l'Industrie minière*, 1894, t. VIII, 3^e livr.

6 centimètres de diamètre et de profondeur variable. On introduit dans ce trou un tube de cuivre flexible, d'un centimètre de diamètre intérieur, dont l'extrémité s'arrête à environ 20 centimètres du fond. L'autre extrémité est reliée à un manomètre métallique ou à un compteur à gaz. On fait ensuite, dans l'espace annulaire compris entre le tube et la paroi du trou, avec de l'argile humectée, un bourrage énergique dont la base est à une distance variable du fond et qui se termine à l'orifice du trou. Ce bourrage s'appuie sur une rondelle en fer brasée sur le tube; quelques bagues en caoutchouc sont interposées entre la rondelle et l'argile. Le tuyau en cuivre que nous avons employé a, sur le tuyau en fer qu'on emploie communément, l'avantage de pouvoir être introduit dans le trou d'une seule pièce, à cause de sa flexibilité. Les tubes en fer sont rigides, et comme l'intervalle entre le front du chantier et la paroi opposée est souvent faible, on est obligé de les employer par tronçons de 2 à 3 mètres; il en résulte des joints qui peuvent amener des fuites.

Le bourrage est pratiqué au moyen d'un bourroir spécial épousant la forme du tube. L'argile humectée a donné de bons résultats, on a rarement constaté des fuites. Elle a cependant un inconvénient : on ne peut pas la débarrasser sans grandes difficultés; il y aurait intérêt à le faire quand, après une observation, on veut approfondir le trou. A ce point de vue, un bourrage plus perfectionné serait préférable.

Pour la lecture des pressions, on a employé un manomètre Bourdon à grand cadran. On avait aussi préparé des manomètres à mercure et à eau; mais on ne s'en est pas servi, les pressions observées ayant toujours dépassé 1 kilogramme par centimètre carré.

Les débits ont été mesurés à l'aide d'un compteur à gaz indiquant les litres.

Choix des lieux d'expériences. — Le choix des couches dans lesquelles on devait opérer n'avait pas grande importance. En effet, toutes les couches du siège n° 1 de Liévin sont grisouteuses, et elles le sont à peu près également: au niveau de 476 mètres où nous avons fait les essais, à égal développement de travaux les retours d'air partiels indiquent des teneurs qui ne diffèrent pas sensiblement entre elles.

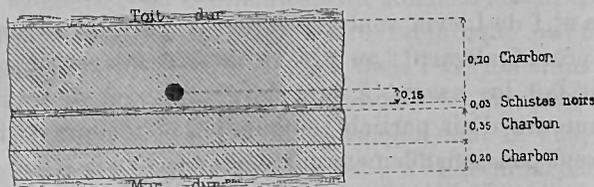
Mais il était important de fixer la position du champ d'expériences par rapport aux exploitations. A cet égard, on a fait deux séries d'essais : la première, dans une région vierge de toute exploitation, où l'on était sûr de trouver un charbon dur, compact; la deuxième, dans une région où le terrain était fissuré par des exploitations voisines.

Expériences dans la veine Frédéric. — Au niveau de 476 mètres, dans la région du couchant, existe une galerie horizontale en traçage dans la veine Frédéric. Sur une longueur de plus de 250 mètres, il n'y a d'exploitation ni dans Frédéric, ni dans une veine supérieure, ni dans une veine inférieure. En se plaçant au centre de ce massif vierge, on était dans de bonnes conditions pour trouver un charbon dur et peu perméable au grisou. La galerie n'était creusée que depuis six mois, quand nous avons commencé les essais. Ajoutons que pendant toute leur durée, aucun affaissement du toit n'a pu modifier la texture de la masse charbonneuse.

La *fig. 6*, Pl. V, représente cette galerie. La *fig. 7* de la même planche donne, à une plus grande échelle, la position des divers trous de sonde qui ont été creusés suivant la ligne de plus grande pente de la couche. Inclinaison 23°.

Le croquis ci-après représente la structure de la couche.

Le toit et le mur de la couche sont formés par des schistes durs.



Le charbon renferme 30 p. 100 de matières volatiles. *ab* (fig. 6, Pl. V) représente un accident qui a déplacé la couche d'un mètre environ et qui a été rencontré par le trou n° 4; *cd* est la ligne du crochon, c'est le pli qui limite, au sud, la couche en place.

Nous avons remarqué que le grisou est souvent abondant dans le voisinage des crochons.

On a creusé six trous de sonde répartis sur une longueur de galerie de 59 mètres. Ils ont été forés dans l'ordre des numéros. Leur longueur est variable, ainsi que la profondeur du bourrage. Aucun phénomène important ne s'est produit durant le creusement. En général, la poussière du charbon est sèche pendant les 4 ou 5 premiers mètres, puis elle devient humide et il s'écoule de l'eau salée, claire, en petite quantité. Cette humidité devient même une difficulté pour le forage des trous profonds.

Le trou n° 1 ayant présenté une fuite dès le début, a été abandonné.

Les trous n° 2, 3, 4 et 5, ayant des longueurs respectives, les deux premiers de 9^m,25, les deux autres de 12 mètres, ont été successivement forés aux dates suivantes : 10 janvier 1893, 12 janvier, 16 janvier, 23 janvier, et bourrés aussitôt après le forage. Leur position est indiquée par les fig. 6 et 7, Pl. V.

Le n° 2 ayant présenté une fuite a été supprimé et

remplacé par le n° 2 *bis* placé tout à fait dans le voisinage du n° 2; un bouchon a été mis sur ce dernier.

Le bourrage des quatre trous a été arrêté à la profondeur de 4 mètres.

Quelle est, au double point de vue de la pression et du débit, l'influence de la profondeur du bourrage ou de l'espace libre au fond du trou ?

Toutes les expériences démontrent que la pression augmente avec la profondeur; on aura donc la pression maxima quand le bourrage sera près du fond. En l'éloignant de ce dernier, on trouvera une pression d'autant plus réduite pour une même surface de dégagement, que la perméabilité sera plus grande. Les résultats que nous avons obtenus dans la veine Frédéric nous permettent d'admettre que le charbon n'y est guère perméable et que les pressions relevées sur les quatre trous ne sont pas beaucoup inférieures à celles qu'on aurait trouvées au fond du trou.

Quant au débit, il est, à pression déterminée, proportionnel à la surface libre au fond du trou.

Sur les diagrammes, fig. 1, 2, 3, 4 et 5 de la planche V, on a figuré les observations embrassant une période assez longue. Les abscisses représentent le temps; les ordonnées, la pression ou le débit.

Les trous n° 2 *bis* et 3 se trouvent dans des conditions identiques et sont placés à 23 mètres l'un de l'autre. La pression dans le n° 2 *bis* est plus élevée que dans le n° 3.

D'un autre côté, des trous n° 4 et 5, également semblables comme profondeur et bourrage, c'est le n° 4 qui accuse la pression la plus forte. Il est à remarquer que le fond de ce trou a rencontré l'accident *ab* qui, communiquant avec la galerie, peut constituer une voie d'écoulement pour le grisou; c'est donc le n° 5 qui aurait dû donner la pression la plus élevée.

Le 7 février 1893, on a creusé entre le n° 2 *bis* et le

n° 4 un trou de 12 mètres de profondeur, et on n'a laissé qu'un intervalle d'un mètre entre le fond du trou et le bourrage. Ce trou n° 6, comparé au n° 4, donne une idée de l'influence de la position du bourrage dans des trous également profonds. Toutes choses égales, en déplaçant le bourrage de 7 mètres, on n'a qu'une variation de pression d'un kilogramme.

Le tableau ci-dessous résume les données relatives à ces différents trous de sonde.

Désignation des forages.	Longueur totale du trou. mèt.	Longueur du bourrage. mèt.	Longueur du vide. mèt.	Surface de dégagement. mèt. car.
Forage n° 2 ^{bis}	9,25	4,00	5,25	1,0000
Id. n° 3	9,25	4,00	5,25	1,0000
Id. n° 4	12,00	4,00	8,00	1,5200
Id. n° 5	12,00	4,00	8,00	1,5200
Id. n° 6	12,00	11,00	1,00	0,1900

Les trous étant bourrés et munis chacun d'un manomètre, on a fait des observations journalières régulières jusqu'au 15 avril, c'est-à-dire pendant une période de trois mois.

La lecture des diagrammes fait voir qu'au bout de ce temps assez long, la pression n'a pas sensiblement baissé dans les trous qui sont restés constamment en charge.

Un seul, le n° 4, présente une chute de pression assez notable, 1^k,5 environ, qui s'explique par le fait que, du 5 au 25 mars, on a laissé écouler le gaz par le compteur.

Deux ans après ces observations, en mars 1895, aucune modification n'ayant été apportée aux installations, on a fait les relevés suivants :

	Pression en mars 1893.	Pression en mars 1895.	Diminution de pression.
Trou n° 2	5 ^k 5,500	4 ^k 5,200	1 ^k 5,300
Trou n° 3	4 ^k 5,200	2 ^k 5,500	1 ^k 5,700
Trou n° 5	5 ^k 5,700	3 ^k 5,750	1 ^k 5,950

Ces observations sont intéressantes parce qu'elles font voir combien la couche « se saigne » lentement par le fait de la galerie de traçage qui la traverse. Elles établissent d'une façon bien évidente le peu de perméabilité du charbon dans la veine Frédéric. La mesure des débits, dont nous parlerons plus loin, a aussi mis cette imperméabilité en relief.

La période de mise en charge est, en général, assez rapide; la plupart des trous ont atteint leur pression maxima au bout de cinq à six jours, quelquefois plus tôt.

Le n° 4 se signale par la lenteur de sa mise en charge. Est-ce parce qu'il est en relation avec l'accident *ab* ?

Quand, après avoir ouvert le robinet pour laisser écouler le grisou et tomber la pression à zéro, on le refermait immédiatement, la pression maxima était atteinte, tantôt au bout de quelques heures, tantôt au bout de plusieurs jours seulement. Ces anomalies sont difficiles à expliquer.

Quand on laisse le grisou s'écouler librement pendant plusieurs jours (trou n° 4, du 20 au 22 février), la pression maxima se rétablit beaucoup plus lentement.

Mesure du débit. — Le débit a été mesuré dans le trou n° 4, à l'aide d'un compteur à gaz. On a commencé le 5 mars. Pendant les 20 premières secondes le débit total a été de 210 litres, puis il est tombé à 10 et à 9 litres par heure.

Le 8 mars, on ferme le compteur pour mesurer la pression; le lendemain elle est de 3 kilogrammes. On ouvre de nouveau le compteur : il s'écoule 125 litres en 20 secondes, puis 6 litres et 7 litres par heure.

Tous ces phénomènes s'expliquent facilement.

Constatons seulement la faiblesse du débit normal, 6 litres par heure, 0^l,100 par minute. Comparé aux

chiffres obtenus dans d'autres bassins, ce résultat mérite de fixer l'attention.

Mesure de la pression dans le toit de la couche. — Nous avons dit plus haut que le toit de la veine Frédéric est imperméable. L'expérience suivante le prouve. Le 25 janvier, on a fait, dans le voisinage du trou n° 3, un sondage dans le toit de la couche, avec les outils qui ont servi pour le forage en charbon. Il était placé à un mètre au-dessus du charbon, et il avait une inclinaison de 60°. Le 28, ce sondage ayant atteint 6 mètres de profondeur, on a fait un bourrage de 3 mètres d'épaisseur. Le 3 mars, la pression dans le toit était de 0^k,100. Cette pression est insignifiante par rapport à celle relevée dans le trou n° 3 tout à fait voisin du sondage dans le toit.

Le toit de la veine Frédéric, formé de schistes, ne contient donc que peu de grisou.

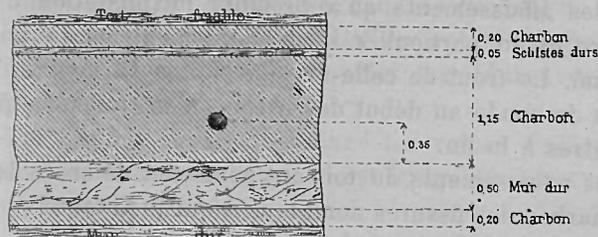
Expériences dans la veine Alfred. — Après avoir fait cette première série de constatations dans la veine Frédéric qui n'était influencée par aucune exploitation, nous sommes portés dans la veine Alfred, région du levant, niveau de 476, dans le voisinage d'une importante exploitation.

La veine Alfred est inférieure à la veine Frédéric et en est séparée par la veine Du Souich; mais aucune couche, autre qu'Alfred, n'est exploitée dans la région où l'on a fait les sondages, de telle sorte qu'on est certain que ceux-ci ne sont influencés que par l'exploitation de la veine dans laquelle ils sont creusés.

La veine Alfred présente la composition indiquée par le croquis ci-après.

Le charbon donne à l'analyse 33 p. 100 de matières volatiles. Les sondages sont placés à front d'une taille arrêtée et située en aval de la voie de fond (taille *mn* des *fig.* 11 et 12, Pl. V). En arrière de cette taille est une taille *pq* qui a

été en activité jusqu'à la fin du mois de mars. Plus loin se trouvent d'autres chantiers soit en amont, soit en aval.



On a foré trois trous dans les conditions suivantes :

NUMÉRO du trou	PROFONDEUR du trou	PROFONDEUR du bourrage	LONGUEUR vide	SURFACE de dégagement	DATE de la mise en pression	PRESSION maxima	PRESSION au bout de 3 mois
	mèt.	mèt.	mèt.	met. cub.		kilogr.	kilogr.
1	7,60	7,40	0,30	0,0950	1 ^{er} mars 1893	4,630	3,3
2	9,50	8,50	1,00	0,1900	1 ^{er} mars »	6,100	4,2
3	14,60	13,85	0,75	0,1425	8 mars »	6,900	»

Le trou n° 2 a une profondeur plus petite de 5 mètres que celle du n° 3, et accuse une pression presque aussi considérable que celle de ce dernier.

Le n° 1 n'a que 1^m,40 de profondeur en moins que le n° 2, et accuse une pression de 1^{kg},5 inférieure à celle de ce dernier.

On ne peut déduire de ces chiffres aucun rapport entre la profondeur et la pression.

Comme dans la veine Frédéric, on a relevé les pressions journallement jusqu'au 15 juillet 1893, c'est-à-dire pendant quatre mois et demi (*fig.* 8, 9 et 10, Pl. V.)

Nous remarquons qu'ici la chute de la pression est beaucoup plus rapide qu'elle ne l'a été dans la veine Frédéric. Au bout de trois mois, elle a déjà diminué de près de 2 kilogrammes dans le trou n° 2. Cette différence s'explique très facilement par le voisinage de l'exploita-

tation. Pendant le cours des expériences, la masse de charbon dans laquelle sont forés les trous a été affectée par les affaissements qu'a produits l'exploitation d'en arrière et en particulier le déhouillement de la taille voisine. Le front de celle-ci, qui était à 12 mètres des trous de sonde au début des essais, n'en était plus qu'à 3 mètres à la fin.

Les affaissements du toit ont pour effet de créer dans le charbon des fissures nombreuses qui facilitent l'écoulement.

Débit. — La mesure du débit a été effectuée, à partir du 1^{er} avril, sur le trou n° 3 qui avait donné la pression la plus élevée. Le compteur a marqué des chiffres supérieurs à ceux de la veine Frédéric. Tandis que dans celle-ci on n'a constaté que 10 litres par heure, dans la veine Alfred on a trouvé 20 litres par heure au minimum et quelquefois 48 litres. La surface d'écoulement du grisou qui était de 1^{m²},52 dans Frédéric n'est que de 0^{m²},142 dans Alfred.

La pression dans le trou n° 3 de la veine Alfred est sensiblement égale à celle du trou n° 4 de la veine Frédéric. Ainsi, à pression égale, le débit par unité de surface est, dans la première veine, cinquante fois plus élevé que dans la seconde.

Signalons encore que le volume débité, loin de diminuer avec le temps comme dans Frédéric, a une tendance à augmenter et cela pendant que la pression dans les trous voisins n° 1 et 2 tombe. Ce phénomène s'explique facilement, si l'on admet que la taille voisine en approchant des trous de sonde a contribué, par les affaissements du toit, à produire dans la houille des fissures formant autant de canaux de dégagement. C'est aussi aux mouvements provoqués par l'exploitation voisine qu'il faut attribuer les nombreuses oscillations que montre le diagramme.

Résultats généraux. — La pression maxima constatée à Liévin a été de 7^{kg},500, dans un sondage de 12 mètres de profondeur. En Angleterre, dans le Couchant de Mons, les pressions ont atteint respectivement 31 kilogrammes et 42^{kg},5; à la mine du Treuil, elles ont été trouvées plus faibles qu'à Liévin.

Les observations faites dans les veines Frédéric et Alfred montrent que le grisou est irrégulièrement réparti dans la masse de charbon.

La pression augmente avec la profondeur des trous de sonde : cela est évident *a priori* et toutes les expériences le constatent. M. Lindsay Wood a cru pouvoir énoncer qu'elle est proportionnelle à la racine carrée de la profondeur. M. Mallard a établi une formule dans laquelle la pression est fonction de la profondeur, du débit par unité de surface et du coefficient de perméabilité. Les résultats que nous avons obtenus ne sont vérifiés ni par la loi de M. Lindsay Wood ni par la formule de M. Mallard.

La galerie de traçage dans la veine Frédéric n'a drainé le grisou que d'une façon très lente, puisque, au bout de plus de deux ans, la pression n'a été réduite que d'un tiers au plus. Il semble donc que, pour drainer le grisou, l'emploi de galeries de traçage dans lesquelles il ne se produit aucun affaissement, soit un moyen peu efficace. Cela explique aussi que l'utilité des trous de sonde pour saigner les veines, ait été souvent mise en doute soit en Belgique, soit à Bessèges (*).

M. Mallard, dans une note citée plus haut (**), admet que le débit va en augmentant avec la pression. Nous avons trouvé qu'à égalité de pression, le débit par unité de surface est 56 fois plus grand dans la veine Alfred que dans la veine Frédéric.

(*) *Annales des mines*, 1892, t. I^{er}. Dégagements instantanés aux mines de Bessèges, par M. M. Ichon et Lombard.

(**) Page 538.

Si l'on compare les résultats obtenus dans Alfred avec ceux de Frédéric, on voit que les affaissements produits par l'exploitation augmentent considérablement la perméabilité du grisou, et partant la quantité de grisou débitée. M. Mallard appelle « coefficient de perméabilité » le rapport entre le débit par unité de surface et la pression. Calculons ce coefficient $\frac{v}{p}$ pour les veines Frédéric et Alfred, en appelant :

v le volume débité par heure et par mètre carré de surface ;
 p la pression maxima observée en kilogrammes par centimètre carré.

Faisons la même opération pour les expériences anglaises citées par M. Mallard et pour celles de la mine du Treuil, en choisissant pour chaque cas les observations qui donnent au coefficient de perméabilité les valeurs extrêmes.

Nous formerons le tableau suivant :

LEUX D'EXPÉRIENCES	PRESSION en kilo- grammes par centimètre carré	SURFACE de dégage- ment en mètres carrés	DÉBIT en mètres cubes par heure et par mètre carré de surface	RAPPORT $\frac{v}{p}$
	p kilog.	mét. car.	v mèt. cub.	
Liévin. — Veine Frédéric, traçage.	6,3	1,520	0,0066	0,0010
Id. Veine Alfred, taille . . .	6,9	0,142	0,338	0,0490
Angleterre. — Mine de Boldon, trou n° 3	32,4	0,259	0,050	0,0015
Angleterre. — Mine de Boldon, trou n° 4	26,7	0,238	0,315	0,0147
Angleterre. — Mine de Harton, trou n° 1	13,8	0,223	0,089	0,0064
Angleterre. — Mine de Harton, trou n° 3	20,7	0,327	0,434	0,0210
Saint-Etienne. — Mine du Treuil. — Niveaux, trou n° 127	0,526	0,200	0,369	0,7040
Saint-Etienne. — Mine du Treuil. — Niveaux, trou n° 132	0,162	0,200	0,390	1,8320
Saint-Etienne. — Mine du Treuil. — Tailles, trou n° 121	0,202	0,200	0,900	4,4444
Saint-Etienne. — Mine du Treuil. — Tailles, trou n° 118	0,047	0,200	0,750	15,7100

On voit que le coefficient de perméabilité, qui est de 0,0010 à Liévin (traçage), est de 15,710 à la mine du Treuil. Il varie entre des limites extrêmement éloignées. En outre, la grande perméabilité correspond aux moindres pressions ; les pressions élevées donnent un coefficient faible. C'est en quelque sorte, le contraire de la loi énoncée par M. Mallard, bien que les pressions ne soient pas inversement proportionnelles aux débits.

Dans l'exploitation des veines grisouteuses, il conviendra de chercher à diminuer la tension du grisou, à régulariser son dégagement, à augmenter la perméabilité du charbon. On appliquera la méthode qui donnera un grand développement au front des tailles, de telle sorte que les affaissements produits par le déhouillement agissent en avant des chantiers et produisent dans la houille des fissures qui facilitent la sortie du gaz. Le régime grisouteux d'une couche sera affecté dans le même sens par l'exploitation de couches inférieures ou d'une couche supérieure voisine. Enfin, un but analogue peut être atteint par la méthode de Bessèges (*) qui consiste à ébranler les roches encaissantes au moyen de coups de mines placés dans le toit et le mur de la couche.

Liévin, 27 mars 1895.

(*) *Annales des mines*, 1892, t. I^{er}, p. 584.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DES ÉTATS-UNIS
EN 1893 (*) ET EN 1894.

	1893		1894	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
<i>1° Métaux.</i>	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Fonte	7.156.782	486.341.441	6.764.572	372.785.765
Cuivre	148.441	182.232.384	110.483	173.739.733
Plomb	152.080	64.409.042	145.906	54.830.549
Zinc	69.178	32.492.571	67.135	26.987.189
Mercurc	1.046	5.742.170	1.056	5.676.451
Nickel raffiné	12	64.382	10	56.410
Aluminium	142	1.050.504	371	2.541.400
Antimoine	318	326.340	205	203.056
Argent (en kilogrammes)	1.881.550 ^{kg}	245.070.980	1.550.238 ^{kg}	162.670.291
Or (idem.)	75.764	186.240.900	72.732	205.963.042
Total	1.203.676.714	1.905.538.505	1.005.397.176	1.832.481.343
<i>2° Matières minérales.</i>	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Charbon. { Anthracite	42.960.116	386.458.484	47.183.345	418.955.313
{ Houille bitumineuse	116.869.397	641.798.970	106.953.311	537.903.978
Coke	8.104.202	76.479.898	7.706.846	65.550.610
Asphalte	3.166	355.773	4.080	391.888
Roches bitumineuses	28.489	594.445	25.018	767.262
Pétrole brut	6.978.403	166.947.756	6.725.400	214.152.143
Gaz naturel	"	72.520.000	"	56.980.000
Graphite	1.934	252.406	499	186.174
Pyrites	95.526	1.476.300	109.192	2.416.294
Fer chromé	1.616	82.880	2.697	181.948
Minerai de manganèse	9.297	310.800	11.924	387.930
Minerai d'antimoine	771	212.380	150	47.008
Oxyde de cobalt	2	28.211	3	45.807
Bauxite	10.896	285.962	10.908	222.367
Monazite	59	39.368	340	233.100
Pierre à bâtir	"	196.840.000	"	155.400.000
Marne	203.814	2.797.200	228.622	3.146.850
Castine	3.810.375	11.655.000	3.602.290	11.015.973
Marbre	429.399	10.814.586	433.033	11.278.310
A reporter	1.569.620.419	1.476.262.957		

(*) Les chiffres de 1893, bien que déjà publiés l'an dernier (*Ann. des mines*, 2^e vol. de 1894, p. 463-464), sont donnés de nouveau ici, à raison des rectifications apportées à un certain nombre d'entre eux.

	1893		1894	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
<i>Report.</i>		1.569.620.419		1.476.262.957
Chaux	5.443.464	155.400.000	5.104.355	146.982.500
Ciment	1.005.392	31.407.019	1.174.531	28.376.304
Pierre meulière	41.133	1.791.866	33.922	1.739.444
Pierre à meules	141	12.220	269	23.035
Pierres à aiguiser	1.726	463.869	1.574	437.451
Silice, sable et quartz	304.814	1.713.668	320.610	1.802.386
Tripoli	1.226	132.737	1.634	190.039
Argile réfractaire	2.916.591	24.980.462	3.061.794	20.983.584
Kaolin	27.382	1.065.355	22.246	959.175
Ardoise	"	17.780.744	"	15.803.336
Phosphate de chaux	997.140	17.791.694	967.485	14.796.489
Gypse	299.682	4.805.046	279.437	4.402.612
Borax	4.473	3.573.811	5.962	4.764.776
Soude naturelle	2.268	64.750	"	"
Sulfate de soude naturel	82	2.331	"	"
Barytine	24.161	689.769	21.548	492.266
Magnésite	1.037	41.440	1.243	25.196
Amiante	109	31.080	227	19.425
Talc fibreux	33.143	1.748.897	35.917	2.051.280
Stéatite	18.235	1.900.153	19.087	2.081.801
Mica	311	181.300	381	243.774
Feldspath	17.274	440.300	23.655	602.952
Spath-fluor	8.800	326.703	8.165	331.520
Onyx	166	148.925	110	150.220
Corindon et émeri	1.585	728.251	1.106	567.210
Grenat	1.379	289.044	907	181.300
Pierres précieuses	"	1.036.000	"	1.295.000
Couleurs minérales (vermillon, blanc de céruse, blanc de zinc, etc.)	143.558	62.733.219	134.565	56.277.131
Alun	87.093	14.918.400	65.304	11.488.800
Couperose	16.204	696.814	13.511	539.238
Sulfate de cuivre	21.492	9.440.550	27.215	10.442.880
Sel (gemme et raffiné)	1.478.230	29.130.491	1.460.946	27.956.232
Brome	158	451.178	172	511.033
Total	1.955.538.505	1.832.481.343		
		1893	1894	
<i>Résumé des valeurs.</i>		Valeur en francs	Valeur en francs	
1 ^o Métaux	1.203.676.714	1.905.538.505	1.005.397.176	1.832.481.343
2 ^o Matières minérales indiquées	1.955.538.505		1.832.481.343	
3 ^o Substances diverses non dénommées (estimation)		31.080.000		28.490.000
Total général		3.190.295.219		2.866.368.519

(Extrait de l'Engineering and Mining Journal.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DU CANADA EN 1894.

	PRODUCTION	VALEUR
1° Métaux.		
	tonn. mètr.	francs
Cuivre	3.847	4.173.837
Plomb	2.628	819.797
Nickel	2.226	10.676.602
Or (en kilogrammes)	1.648 ^{kg}	4.944.056
Argent (en kilogrammes)	20.202	2.119.853
Platine	"	5.180
Valeur totale des métaux		22.739.330
2° Matières minérales.		
Charbon	3.495.599	43.757.118
Coke	52.404	765.920
Pétrole	106.789	4.334.168
Gaz naturel	"	1.625.246
Minerai de fer (*)	99.782	1.173.845
Pyrites	36.765	629.790
Fer chromé	2.009	491.380
Minerai de manganèse	67	21.652
Ocres	1.048	57.602
Gypse	203.300	1.046.521
Phosphate de chaux	6.613	227.609
Castine	31.843	177.917
Pierres à bâtir	"	5.698.000
Granite	14.901	569.468
Sables et graviers	294.523	450.349
Chaux	"	4.662.000
Ciment	"	728.614
Ardoise	"	391.349
Pierre meulière	3.408	169.474
Amiante	6.935	2.179.873
Mica	"	259.000
Pierres précieuses	"	7.770
Sel	51.890	884.159
Eaux minérales (litres)	2.323.798 ^{lit}	492.307
Total		70.701.131
Matières minérales non dénommées, principalement matériaux de construction, briques, tuiles, poteries, etc.		36.887.422
Valeur totale des matières minérales		107.588.553

(*) Sur cette quantité 98.766 tonnes ont été converties en 45.275 tonnes de fonte, valant 3.348.595 francs.

(Extrait de l'Engineering and Mining Journal.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA HONGRIE EN 1893.

La superficie totale des mines concédées était, en 1893, de 66.897 hectares, dont 8.372 pour les mines de l'État et 58.525 pour les mines privées; elle se répartit comme suit :

Mines de charbon	58 p. 100.
— d'or et d'argent	20 —
— de fer	17 —
Autres mines	5 —

Le nombre des ouvriers occupés a été de :

Hommes	49.944
Femmes	1.523
Enfants	5.660
Total	57.132

Au point de vue des accidents, on a compté, pour 10.000 ouvriers, 17 tués, 21 blessés grièvement et 55 blessés légèrement.

La production minière et métallurgique représente, pour l'année 1893, une valeur totale de 35.474.491 florins, 80 (87.621.995 francs). Les principaux facteurs en sont indiqués dans le tableau suivant :

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEUR par unité	VALEUR totale
	tonnes	fr. c.	francs
Houille	982.798	12,97	12.749.984
Lignite	2.877.899	8,15	23.205.055
Briquettes	34.189	19,49	666.285
Coke	3.189	22,72	72.463
Asphalte	40.472	12,35	533.504
Huile minérale	143	97,07	13.684
Pyrite de fer	62.528	9,51	594.989
Minerais de fer exportés	314.133	6,32	1.992.365
Fonte d'affinage	307.062	87,68	26.894.414
Fonte de moulage	16.001	176,36	2.826.741
Plomb	2.513	342,84	861.020
Cuivre	343	1.274,52	431.688
Minerai d'antimoine	132	122,76	16.207
Antimoine (régule et métal)	612	988,00	599.939
Minerai de nickel et de cobalt	41	790,40	31.730
Alliages id.	34	889,20	30.133
Mercure	2,5	4.804,89	11.778
Soufre	70	206,74	14.492
Or	kilogr. 2.500	4.050,80	10.116.828
Argent	23.975	222,30	5.338.417

(Extrait de l'Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ALLEMAGNE
ET DU LUXEMBOURG EN 1894 (*).

	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen
<i>Substances minérales.</i>			
	tonnes	francs	fr. c.
Combustibles minéraux. { Houille	76.772.659	626.286.033	8,16
Lignite	22.103.446	65.375.482	2,96
Minéral asphaltique	55.981	554.790	9,91
Pétrole	17.232	1.496.410	69,41
Graphite	3.133	225.000	71,82
Minéral de fer	8.433.784	42.593.226	5,05
— de zinc	728.616	12.642.008	17,35
— de cuivre	588.195	19.975.392	33,96
— de plomb	162.675	14.887.349	91,51
— d'étain	211	80.243	380,30
— de cobalt, nickel et bismuth	4.525	957.373	211,57
— d'urane et wolfram	40	30.477	761,93
— de manganèse	43.702	572.750	13,10
— d'arsenic	2.906	147.633	50,80
— d'or et d'argent	19.080	3.097.989	162,37
Pyrites de fer	134.787	1.204.737	8,94
Sel	1.238.080	21.470.496	17,06
Minéral de fer (Luxembourg)	3.958.281	9.285.452	2,34
<i>Métaux.</i>			
Fonte	4.700.222	253.846.662	54,00
Fer et acier puddlés	1.116.293	155.268.761	139,09
Fer et acier fondus	3.617.210	472.771.660	130,70
Zinc	143.577	51.430.100	358,20
Cuivre	25.722	26.900.364	1.045,81
Plomb	100.753	23.431.259	232,56
Etain	896	1.337.277	1.492,50
Antimoine et manganèse	424	320.999	757,07
Nickel, cobalt, bismuth	997	5.681.404	5.698,50
Or	kilogr.		
Argent	4.133	14.172.909	3.429,20
	444.213	47.496.543	106,92
Fonte (Luxembourg)	tonnes		
	679.817	30.984.004	45,58

(Extrait de la Statistik des deutschen Reichs,
Jahrgang 1895.)

(*) Renseignements provisoires.

NOTE

SUR LES

GISEMENTS DE PHOSPHATE DE CHAUX

DU PLATEAU DE CHERIA (CERCLE DE Tébessa)

Par M. JACOB, Ingénieur des mines.



M. Blayac, attaché au service de la Carte géologique, a fait paraître dans les *Annales des mines* (livraison de septembre 1894) une description des gîtes de phosphate de chaux en exploitation au nord-est de Tébessa.

Dans la présente note, nous nous proposons de décrire d'autres gisements qui se trouvent au sud-ouest de Tébessa et au même niveau géologique que les précédents. Les gisements du plateau de Cheria n'ont été jusqu'à présent l'objet d'aucun travail de recherche, de sorte que nous avons dû nous borner à une reconnaissance géologique de surface. Une pareille reconnaissance est naturellement insuffisante pour permettre d'établir d'une façon positive la valeur industrielle des gisements en question. On peut toutefois signaler que les conditions de gisement paraissent identiques à celles du Dyr, et que la distance qui sépare les gîtes de Cheria des exploitations en activité est d'une trentaine de kilomètres, distance presque insignifiante relativement à celle qu'occupe dans cette région une même formation géologique.

Le plateau de Cheria sur lequel se trouvent les gise-

ments en question (Pl. VI, *fig.* 1) est situé au sud du village d'Youks (20 kilomètres à l'ouest de Tébessa). La ligne de crête voisine du village est à une altitude de 350 mètres au-dessus de ce dernier : elle forme la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et les Chotts sahariens. Le plateau, limité au sud-est par les crêtes du Djebel-Doukan, au nord-ouest par le Djebel-Gourigueur a une pente générale très douce vers le sud-ouest : il est limité dans cette direction par le Djebel-oum Debben. Les eaux de la partie nord du plateau disparaissent rapidement par infiltration dans le terrain d'atterrissement. Elles réapparaissent près du bordj du Caïd de Cheria où se trouvent deux sources très abondantes alimentées par ces eaux et sans doute aussi par les eaux renfermées dans les fissures du calcaire nummulitique, dont les couches souterraines présentent en ce point un relèvement.

L'oued Cheria formé par ces sources devient, en aval de Cheria, un marécage sur plusieurs kilomètres et se dirige vers le sud par une gorge qui traverse le Djebel-oum Debben.

Au point de vue orographique, la région à l'ouest de Tébessa et au sud de la route qui relie cette ville à Ain-Beïda est constituée dans ses grandes lignes par une succession d'ondulations dirigées sensiblement nord-est-sud-ouest.

La série crétacée depuis le turonien jusqu'au sénonien en forme l'ossature. Le turonien affleure dans les anticlinaux partout où les érosions de la période diluvienne qui se sont manifestées en Algérie sur une si grande échelle ont enlevé les couches supérieures. Le suessonien (base de l'étage tertiaire) se trouve dans les synclinaux à Cheria, au Gourigueur et enfin plus à l'ouest, sur les bords du Tharf, au Tafrent.

À Cheria il y a une double ondulation très légère, dont

le pli anticlinal central disparaît sous les atterrissements, mais dont l'existence est révélée par la source voisine du bordj et les formes du Djebel-oum Debben qui reproduisent, en les accusant davantage, les formes de la partie nord.

Les diverses formations qu'on rencontre en allant du village d'Youks au plateau de Cheria sont les suivantes.

Turonien. — Cet étage est constitué par des marnes surmontées de calcaires durs dolomitiques, il forme une première série de mamelons de faible hauteur entre le village et la route de Tébessa à Constantine. Un peu au nord-est d'Youks il disparaît sous les atterrissements pour reparaitre un peu plus loin de l'autre côté du village où il forme un piton assez élevé se continuant par une bande mince. Un dernier lambeau plus important limite au sud la plaine d'Youks.

Les couches ont une plongée variable pouvant atteindre 40° et dirigée toujours vers la montagne.

Cet étage forme le substratum du plateau de Cheria; il se retrouve à l'est occupant de grandes surfaces au sud de Tébessa, et à l'ouest où il forme un flot isolé dans la vallée de l'oued Serdies. (Ces affleurements sont en dehors des limites de notre carte.)

L'importante source « Ain-Chabro » qui se trouve entre Tébessa et Youks au bord de la route, jaillit au milieu des atterrissements quaternaires, elle provient des fissures du calcaire turonien.

Le Hammam d'Youks, source thermale dont la température est voisine de 33°, paraît en relation avec une faille dirigée sensiblement nord-ouest-sud-est qui affecte également les couches sénonniennes, ainsi qu'on peut l'observer dans le ravin d'Ain-Lamba.

Sénonien inférieur. — L'étage turonien est recouvert en stratification discordante par une formation de marnes

grises avec quelques bancs calcaires intercalés, dont l'épaisseur au voisinage d'Youks est de 150 mètres. Ces marnes forment la base des montagnes qui dominent le village. Leur allure mamelonnée, la pente relativement douce de leur surface permet de les séparer aisément, même à distance, des calcaires supérieurs abrupts.

Sénonien supérieur. — L'étage supérieur est constitué par des calcaires blancs se débitant facilement en plaquettes. On y rencontre de nombreux moules d'Inocérames. La séparation des calcaires et des marnes, très facile à observer, ainsi que nous l'avons dit, par la différence des pentes, est, en outre jalonnée par une ligne de sources importantes, celles qui alimentent Youks, l'Aïn-Lamba, l'Aïn-Gaga, etc.

Près d'Youks les couches sont presque horizontales, ce qui permet une mesure précise de leur puissance, qui en ce point atteint 180 mètres. Au sud-ouest d'Youks dans la région de Troubia l'inclinaison des couches est de 20° à 30°; à l'est du plateau les calcaires à Inocérames qui forment les crêtes du Djebel-Doukan ont une inclinaison qui va en augmentant quand on s'avance vers le sud : elle est voisine de 45° à la limite de notre carte.

La superposition des calcaires à Inocérames aux marnes inférieures donne à ces montagnes une apparence qui, à distance, présente beaucoup d'analogies avec l'aspect du Dyr dont la base est formée par les marnes suessoniennes et le couronnement par les calcaires nummulitiques. Aussi plusieurs colons d'Youks, trompés par cette similitude d'aspect, ont-ils pris pour du phosphate les bancs d'apparence un peu gréseuse qu'on trouve à la base du calcaire à Inocérames (*). Toutefois les différences lithologiques

(*) Le phosphate de chaux existe dans ces couches à l'état de traces : un échantillon a donné jusqu'à 5,30 p. 100 de phosphate tribasique.

des deux formations (sénonien et suessonien) sont dans cette région tellement nettes qu'à défaut même de la présence de fossiles caractéristiques (les Inocérames abondent dans les calcaires sénoniens), un explorateur attentif ne saurait les confondre.

Suessonien. — Il repose sans discordance de stratification sur le terrain sénonien supérieur; il est formé à la base par des marnes noires surmontées par des calcaires marneux auxquels succède une formation puissante de calcaires blancs durs caractérisés par la présence de nodules de silex. On trouve dans ces calcaires des Nummulites et des *Thersitea*.

Les couches de phosphate se trouvent au-dessus des marnes noires (*es_a*) à la base du terrain marqué *es* sur la carte.

Ce terrain forme une série d'îlots que nous examinerons successivement.

Djebel-Tasbent. — Il est situé au sud d'Youks dans la région nord-est de la carte. Le Tasbent-El-Kebir ou Grand-Tasbent, est une butte allongée suivant la direction nord-sud et dont le sommet est à la cote 1430 (**).

La coupe *fig. 2* faite du nord au sud suivant le grand axe du Tasbent montre comment cette montagne isolée de toutes parts s'élève sur le plateau, où elle présente un aspect absolument semblable aux gours sahariens. Au sommet du Tasbent on aperçoit à une trentaine de kilomètres au nord-est la corniche du Dyr se profilant sur le ciel à un même niveau avec un aspect identique, et plus loin, à 50 kilomètres environ, celle du Kalaa-es-Senam, en Tunisie.

Ce sont trois témoins d'une bande suessonienne con-

(**) Cette altitude a été évaluée au moyen du baromètre en supposant Youks à la cote 900, ce qui doit être sensiblement exact.

tinue dont le reste a été enlevé par les érosions de l'époque quaternaire (*).

Les calcaires nummulitiques ont, au Tasbent, 80 mètres d'épaisseur maxima (en certains points, au sud notamment, les couches supérieures font défaut). Au Dyr, M. Blayac leur trouve une épaisseur de 70 à 80 mètres.

Au-dessous il y a au Tasbent une série de couches de calcaires marneux, de silex et de phosphate dont l'épaisseur totale est inférieure à 30 mètres : au Dyr, où le détail des couches peut être observé, l'épaisseur varie de 13 à 16 mètres.

On voit donc que non seulement les caractères minéralogiques sont identiques au Dyr et au Tasbent, mais que les diverses formations ont la même puissance.

Seulement au Tasbent dans les parties abruptes le sol est recouvert de débris énormes des calcaires nummulitiques supérieurs; il est recouvert de terre et de végétation sur les versants moins raides. La succession des couches au niveau des phosphates est impossible à discerner sans travaux de recherche. Néanmoins l'existence du phosphate est facile à constater soit parmi les débris du pied de la montagne, soit même en place. Les débris qu'on rencontre au pied des talus sont des phosphates siliceux très durs, mais de teneur peu élevée : 35 à 50 p. 100. Grâce à leur dureté ces échantillons ont pu résister aux actions atmosphériques et la couche qui les contient fait généralement saillie. Cette couche se trouve au voisinage immédiat d'un banc de silex continu très épais (de 0^m,20 à 0^m,50 d'épaisseur).

Le banc de silex se rencontre partout dans la région qui nous occupe : il est très facile à trouver et sert à jalonner le niveau à phosphate. En ouvrant au-dessous

(*) Les régions sahariennes peuvent seules donner une idée de l'énorme quantité de matériaux charriés au début de la période quaternaire dans le nord de l'Afrique.

de ce banc une série de tranchées étagées on arrivera très vite et à peu de frais à étudier la zone intéressante.

Du reste, l'existence de cette couche est corroborée par certains indices. Sur le versant est du Tasbent, nous avons observé au niveau où doit se trouver cette couche un trou de renard, et les déblais qui se trouvaient à l'orifice étaient formés de phosphate pulvérulent mélangé à la terre végétale de l'orifice. Sur le versant ouest, au point où le Tasbent forme un rentrant, il y a une petite source qui provient certainement de cette couche, de nature essentiellement perméable.

Si nous ajoutons qu'au Dyr, les travaux de recherches ont porté assez longtemps sur les petites couches faciles à observer, avant qu'on ait découvert la couche puissante masquée soit par les éboulis, soit par la végétation, on verra que le résultat négatif d'une reconnaissance toute de surface ne saurait être concluant et on admettra que l'identité des conditions de gisement du Tasbent et du Dyr, que le fait que ces deux montagnes font partie d'un même dépôt continu sont des éléments suffisants pour qu'on puisse regarder comme infiniment probable l'existence d'une couche puissante au Tasbent.

L'expérience acquise au Dyr évitera d'ailleurs tout tâtonnement dans la direction des recherches.

Les couches du Djebel Tasbent sont sensiblement horizontales : dans la partie sud, la partie supérieure des calcaires a été enlevée et la montagne se compose en réalité de deux masses réunies par un point bas à la cote 1375. Les érosions n'ont pas atteint le niveau à phosphate.

Le Tasbent Serir (petit Tasbent) se trouve à l'ouest et à peu de distance du précédent. Il n'y a rien de particulier à en dire, les deux Tasbent étant deux témoins très rapprochés d'une même formation.

A l'ouest des deux Tasbent, on remarque une série de

petits mamelons suessoniens n'ayant que peu d'étendue et dont les couches ont des inclinaisons variables et parfois très prononcées.

Ces rejets et ces changements de pente ne sauraient être attribués à des failles, mais tout simplement à des éboulements du calcaire nummulitique à la suite de l'affouillement des marnes de la base pendant la période diluvienne.

Des phénomènes du même ordre s'observent aux environs de Constantine sur les calcaires lacustres pliocènes dont l'inclinaison parfois très marquée provient du glissement des couches argileuses qui les supportent.

Le Tasbent et les petits mamelons dont il vient d'être question reproduisent à une échelle réduite le Dyr et le lambeau d'Aïn-Kissa (*). Peut-être à Aïn-Kissa n'y a-t-il qu'un glissement de cette nature.

La surface de l'ensemble des deux Tasbent nous paraît, à simple vue, pouvoir être évaluée à une centaine d'hectares.

Gisement de Troubia. — Ce gisement est situé au nord-ouest de la carte. La coupe *fig. 3* montre qu'il ne diffère du précédent que par l'inclinaison des couches, qui peut atteindre par places 20 à 25 degrés. Par suite de la pente générale de la surface, les calcaires de recouvrement ont été plus ou moins fortement ravinés.

La présence du phosphate dur y a été constatée, mais pas plus qu'aux autres points, l'état de la surface ne nous a permis de recueillir des données positives sur la puissance des couches.

Plusieurs sources, l'aïn Troubia, l'aïn Maglef, entre autres, sourdent à la partie supérieure des marnes noires et sont vraisemblablement en relation avec une couche de phosphate tendre.

(*) Voir la note de M. Blayac.

L'étendue de ce gisement peut être évaluée à un chiffre minimum de 7 à 800 hectares.

Gisement du Coudiat-Damous. — Entre le Tasbent et Troubia existe une ligne à peu près continue de mamelons d'une faible hauteur et formant une bande de 12 à 1.500 mètres de large.

Cette bande, dirigée est-ouest dans la région du Coudiat-Damous, se retourne vers le nord aux environs du Ksar-Belkacem pour se raccorder à Troubia. Les couches sont horizontales ou faiblement inclinées vers la plaine. Les calcaires nummulitiques ont disparu en grande partie; le gros banc de silex forme quelquefois le sommet des mamelons.

Au Coudiat-Damous existe une grotte (en arabe Damous) de plusieurs mètres carrés de superficie et de 1 mètre environ de hauteur, ayant pour toit le banc de silex. Dans cette grotte, creusée sans doute par les hyènes ou autres animaux sauvages, on observe au-dessous du silex une petite couche de phosphate tendre, puis un banc de calcaire marneux et une deuxième couche de phosphate tendre. Un échantillon de cette provenance a donné 61,8 p. 100 après dessiccation.

La grande couche, si elle existe, doit se trouver un peu en contre-bas.

Il est difficile d'évaluer exactement la surface utile de cette bande, mais nous l'estimons certainement supérieure à 500 hectares.

Gisement de Bir-Touil (à l'est du bordj de Cheria). — Il forme un triangle allongé suivant la direction nord-nord-est.

Les couches identiques à celles du Tasbent ont une pente faible vers l'ouest et s'enfoncent dans la plaine. Toutefois, elles se relèvent souterrainement au droit de l'aïn Cheria où on voit affleurer quelques lambeaux de calcaire nummulitique caractérisé par ses rognons de

silex et qui se distingue ainsi des travertins de la source.

Un peu au nord de Bir-Touil, nous avons relevé la coupe suivante : on a dans l'ordre descendant :

Calcaire marneux avec silex en rognons et mince couche de phosphate.	mèt.
Banc de silex	0,20
Phosphate de chaux dur	0,30
Banc de silex	0,10
Phosphate	0,20
Calcaire et calcaire marneux avec silex	0,80
Au-dessous, couche de phosphate tendre d'épaisseur inconnue, le mur étant recouvert par les éboulis.	

La formation suessionienne forme une chaîne séparée par une dépression de la ligne de crête du Djebel-Doukan. Les marnes affleurent sur le versant est de cette chaîne.

L'étendue de ce gisement est celle d'un triangle de 10 kilomètres de hauteur sur 3 de base, soit 15 kilomètres carrés. En réduisant cette surface d'un tiers pour tenir compte des ravins et avoir une évaluation certainement en dessous de la réalité, on a une surface de 1.000 hectares.

Gisement d'Aïn-Babouch. — A mesure qu'on s'avance vers le sud, les couches de la formation crétacée prennent une inclinaison plus grande, en même temps que les bords de la cuvette qu'elles formaient se rapprochent. L'oued Cheria, après avoir coulé dans la plaine où il forme des marécages très vastes, traverse à partir d'Aïn-Babouch une gorge très resserrée.

Les îlots suessioniens de Troubia et de Tasbent se trouvent chacun dans un synclinal du terrain crétacé, mais ces deux ondulations et l'anticlinal qui les sépare sont peu accusés. Dans les gorges d'Aïn-Babouch, ces mêmes plissements se retrouvent, mais beaucoup plus caractérisés.

Les limites du terrain suessionien, indiquées sur notre carte, sont pour la partie sud un peu indécises, parce

que les plans que nous avons s'arrêtent à Aïn-Babouch. Néanmoins, la position du signal géodésique du Rasbou-Kennache, qui se trouve en terrain suessionien, nous a permis de figurer cette limite avec assez d'approximation.

Dans toute la partie au nord d'Aïn-Babouch, la bande suessionienne se présente dans les mêmes conditions que dans le gisement précédent. Cette bande forme une chaîne séparée par une dépression des crêtes du Djebel-Redma. Les petites couches de phosphate dur et les bancs de silex s'y observent aisément.

Quand on arrive aux gorges, les couches de phosphate se trouvent dans le lit au-dessous du fond de la vallée, mais, sur la rive gauche, les couches sont à un niveau élevé par suite des failles qui ont occasionné des rejets considérables.

La *fig. 4* représente une coupe du Ras-bou-Kennache perpendiculairement à la rivière.

Ce gisement paraît très important comme étendue; toutefois, nous éviterons de formuler une appréciation à cet égard.

Plus au sud le terrain suessionien s'étend sur des surfaces considérables jusqu'aux confins du Sahara. L'existence des couches de phosphate y est rendue très vraisemblable par les découvertes faites en Tunisie dans la région de Gafsa, mais on peut dire que, pour le moment, leur éloignement, les difficultés de transport leur enlèvent tout intérêt industriel.

Du Tasbent et de Troubia, il est facile de descendre dans la plaine d'Youks par des câbles aériens et de là de rejoindre la ligne de Tébessa à Soukahras par une voie ferrée ne présentant aucune difficulté d'exécution.

ÉTUDE GÉOLOGIQUE

SUR LES

TERRAINS A PHOSPHATE DE CHAUX

DE LA RÉGION DE BOGHARI (ALGER)

Par M. E. FICHEUR, Professeur de géologie
à l'École des sciences d'Alger.

Le massif montagneux qui s'étend à l'est de Boghari, et qui comprend la majeure partie des monts du Titteri, présente, ainsi que l'a signalé M. Pomel dans la *Description stratigraphique générale de l'Algérie*, le plus remarquable développement des diverses formations de l'éocène inférieur, ou groupe suessonien. Cette région offre le type le plus complet des assises de cette importante série, et sert en quelque sorte de trait d'union entre les facies différents qui caractérisent ces terrains dans l'ouest (région de Bel-Abbès) et dans l'est (Bordj-bou-Arréridj, Tébessa, Soukahras).

Les nombreuses dents de squales, avec des débris de vertèbres, et des coprolithes recueillis par M. Pierredon au cours de l'exploration dont il avait été chargé par le service géologique de l'Algérie, avaient permis à M. Pomel de préciser le niveau de couches phosphatées dans les assises inférieures (*). L'existence de terrains à phos-

(*) Pomel, *Description stratigr. générale de l'Algérie*, 1889, p. 142.

phates avait été reconnue depuis longtemps par M. Ph. Thomas qui en fait une mention sommaire, à la suite de ses belles découvertes sur les phosphates de la Tunisie (*).

Il devenait du plus haut intérêt d'étudier la répartition de ces couches, leur importance et leur extension en surface. C'est à ces recherches, dont MM. Pomel et Pouyanne ont bien voulu me confier le soin, que j'ai pu consacrer plusieurs excursions, en poursuivant l'étude des relations stratigraphiques, d'abord dans la partie septentrionale (région de Berrouaghia, Douairs et Rebaïa) en avril 1894, puis, dans toute l'étendue du massif, entre Boghari et Sidi-Aïssa, en octobre 1894 (**). J'avais antérieurement, en 1891, commencé l'étude de la partie occidentale de cette chaîne, à partir de Boghari, dans les monts des M'Fatha et des Ouled-Mareuf, en sorte que la connaissance des diverses assises m'était devenue très familière, ayant pour base la description donnée par M. Pomel. En outre, je venais de visiter récemment, en compagnie de M. Blayac, les gisements si remarquables de Tébessa et de Soukahras qui m'ont permis la comparaison.

Dans cette vaste région, comprise entre Boghari et Sidi-Aïssa, et dont l'étendue de l'ouest à l'est n'est guère inférieure à 100 kilomètres, le suessonien est principalement représenté par une puissante formation d'argiles et de grès, tandis que l'assise à silex et à phosphates n'existe que sur des zones étroites et largement interrompues. Il en résulte que l'extension des couches phos-

(*) Ph. Thomas, *Sur les phosphates de chaux de l'Algérie* (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, janvier 1888).

(**) J'adresse ici mes remerciements à MM. Arnaud et Robert, administrateurs de Boghari et de Berrouaghia, et à M. le capitaine Bresse, chef du bureau arabe de Boghar, pour l'aimable empressement qu'ils ont mis à me faciliter le parcours de cette région.

phatées, dont l'importance est des plus variables, est très limitée dans ses affleurements. Il me paraît indispensable de préciser tout d'abord la constitution et les relations des différentes assises qui composent le groupe suessonien.

DIVISION DU SUESSONIEN EN DEUX ÉTAGES.

Les terrains suessonniens ne se montrent en relation avec les formations crétacées que sur la bordure nord, où le substratum est, d'une manière générale, constitué par le sénonien marneux à *Ostrea Renoui*, *O. vesicularis*, *O. Villei*, etc., de la vallée de l'Oued-el-Hakoum, de l'Oued-Tléta, de l'Oued-Melban (Rebaïa), du versant nord du Djebel-Chaïba, etc. Au sud, les dernières pentes sont recouvertes par les atterrissements des plateaux qui masquent plus ou moins les assises inférieures. L'extension du suessonien est indiquée vers le sud par la protubérance du Djebel-Birin, allongée de l'est à l'ouest, au milieu de la grande nappe d'alluvions. Sur un point seulement, à 5 kilomètres au sud-est de Boghari, suivant le chemin de Saneg, un petit îlot sénonien fossilifère vient affleurer sur une faible surface, sous les argiles du suessonien, attestant la continuation du substratum sous le massif. A l'ouest, les diverses assises du suessonien sont partiellement recouvertes par le cartennien qui occupe tout le versant sud et la crête de la montagne de Boghar. (Voir la carte, Pl. VII.)

Le suessonien comprend deux grandes divisions stratigraphiques séparées l'une de l'autre par des actions de ravinement intenses qui vont souvent jusqu'à l'ablation totale de l'étage inférieur, et, en outre, par des discordances manifestes, que l'on observe en bien des points, aussi bien au nord que dans la partie sud du massif. Ces

deux divisions doivent être considérées comme des étages distincts, auxquels il nous paraît possible de rattacher toute la série des assises de l'éocène inférieur en Algérie.

L'étage inférieur se compose d'une assise d'argiles gypseuses, surmontées de bancs calcaires blancs ou grisâtres, parfois gréseux, dont la base est caractérisée par des cordons de silex noirs en rognons.

L'étage supérieur est constitué par des argiles et des grès, en couches puissantes, dont la distribution varie rapidement en des points rapprochés, et dont l'épaisseur totale est considérable.

Ces deux étages peuvent, d'une manière générale, se subdiviser ainsi :

- | | | |
|------------------|---|--|
| Étage inférieur. | } | A. Assise inférieure. — Argiles à cristaux de gypse, argiles brunes feuilletées, dépôt de comblement dont l'épaisseur très variable atteint parfois 200 mètres. |
| | | B. Assise supérieure. — Couches marno-calcaires avec lits de silex à la base; couches glauconieuses et phosphatées, surmontées de calcaires blancs, rarement gréseux, dans lesquels s'intercalent d'une manière accidentelle des calcaires à Nummulites; l'épaisseur maxima dans la région dépasse 130 mètres. |
| Étage supérieur. | } | C. Assise inférieure. — Argiles jaunes avec gypse; alternances de grès dont la distribution est très variable: <i>Ostrea Boghariensis</i> (<i>O. multicostrata</i>) abonde dans les argiles. Épaisseur de 300 à 500 mètres. |
| | | D. Assise supérieure. — Grès en bancs puissants, passant à des alternances d'assises argileuses et gréseuses, renferment des Turritelles, <i>Pecten</i> sp. à côtes strigillées, etc., avec <i>Echinolampas clypeolus</i> Pomel. Cette assise est puissante de 400 à 500 mètres. |

L'étage supérieur, avec ses grès puissants, à stratification admirablement nette, plus ou moins intercalés, d'une manière très variable, d'assises argileuses, constitue presque en entier tout ce massif, tant dans les grandes crêtes (Djebel-Djaïfa, Djebel-Taragreguet, Djebel-Lakdar, El-Guern, Djebel-Afoul) que dans les dépressions intermédiaires et dans les dernières zones de collines qui viennent s'éteindre au bord du plateau. La description de cette puissante formation qui ne présente pas de cou-

ches phosphatées appréciables, sortant du cadre de cette étude, je ne m'occuperai ici que de l'étage inférieur. Cependant je tiens à indiquer que les argiles à *Ostrea Bogharensis* (assise inférieure C), dont l'épaisseur à Boghari est d'environ 300 mètres, renferment, dans les collines qui s'étendent au nord de cette localité, des couches glauconieuses avec nodules phosphatés disséminés. Ces indices viennent attester la présence du phosphate de chaux à la base de l'étage supérieur, mais dans des conditions absolument insuffisantes pour une utilisation industrielle quelconque; mes recherches prolongées ne m'ont pas fait reconnaître de traces plus importantes.

Étage suessonien inférieur.

C'est seulement dans cet étage que se rencontrent les couches phosphatées, dans des conditions de gisement qui permettent de s'assurer facilement de leur existence et de reconnaître l'importance de leurs affleurements. Je ne m'arrêterai pas sur l'assise inférieure, constituée par des argiles brunes à nombreux cristaux de gypse qui occupe quelques grandes dépressions sur le versant sud, en particulier la plaine des Ouled-Mokhtar, au sud-est de Boghari, où ces argiles ont été mises à découvert par l'ablation de l'assise supérieure du même étage. Ces zones argileuses correspondent à des terres à céréales d'une remarquable fertilité. Les ondulations à peine indiquées, qui s'étendent du pied du Djebel-Mou-el-Adam à Birin, sont également formées par cette assise argileuse, plus ou moins recouverte de la nappe alluvionnaire qui s'est étalée sur le plateau.

Assise à phosphates. — L'assise supérieure B est la seule qui nous intéresse comme gisement de phosphates

de chaux; aussi dois-je entrer dans quelques détails sur son extension dans le massif, et sur la variabilité de composition qu'elle présente sur les divers points. Cette assise est caractérisée par son aspect, d'un blanc crayeux, bien reconnaissable à distance, et qui tranche nettement sur la teinte grise ou jaunâtre des grès de l'étage supérieur. La distinction est parfois si évidente que l'on peut fixer, d'une manière assez précise, dans un rayon assez éloigné, la limite des deux assises. En outre, les ondulations adoucies et les mamelons arrondis que présentent généralement les chaînons constitués par ce terrain, diffèrent complètement des saillies découpées et des escarpements rocheux qu'offrent les strates des grès supérieurs. Cette assise marno-calcaire a subi des érosions considérables avant la sédimentation de l'étage supérieur, en sorte qu'elle se présente sur des points rapprochés avec des épaisseurs très inégales, et même elle disparaît complètement, ainsi que cela se présente sur le flanc sud du Coudiat Mou-et-Ettin, et à l'ouest du Chabet-Nouel. Ainsi que le montrent les coupes détaillées qui vont suivre, la succession des couches de cette assise est extrêmement variable d'un point à l'autre; elle peut être résumée dans la série suivante pour la région qui avoisine Boghari :

- À la base. — 1° Marnes blanches ou argiles grisâtres avec lits glauconieux et couches phosphatées, renfermant les dents de squales (*Lamna*), des coprolithes, etc.
- 2° Bancs de silex noirs rognonneux, d'épaisseur variable, quelquefois subdivisés.
- 3° Marnes et calcaires marneux blancs, avec lits glauconieux et couches phosphatées : *Ostrea cf. vesicularis*; dents de *Lamna*, vertèbres, os de reptiles.
- 4° Calcaires sableux, avec intercalations de grès friables et couches sableuses, ou calcaires durs rognonneux à gastropodes et bivalves; horizon du *Nautilus Forbesi*.
- 5° Calcaires durs en bancs bien réglés, parfois gréseux, d'épaisseur variable, pauvres en fossiles; niveau des calcaires à Nummulites (*Numm. irregularis*, *N. planulata*, *N. Pomeli*, *N. Biarritzensis*).

Cette assise totale, dont la puissance peut atteindre 150 mètres (Mou-et-Ettin), se présente le plus fréquem-

ment réduite aux couches inférieures qui renferment les niveaux phosphatés.

Elle n'est visible, au sud et à l'est de Boghari, que par suite des ablations qui ont fait disparaître l'étage supérieur. Il en résulte que ses affleurements sont très limités et réduits à des zones étroites et discontinues.

Distribution de cette assise. — L'étage inférieur ne se montre que sur deux bandes interrompues, l'une à la bordure nord, l'autre, beaucoup plus restreinte, apparaît dans la dépression qui sépare le massif des M'Fatha de la zone de collines formant la bordure du plateau, à l'est et à l'ouest d'Aïn-Sba. En outre, des lambeaux de cette assise se montrent dans une zone intermédiaire, dans l'axe de plis anticlinaux, au flanc sud du Djebel-Lakdar. J'examinerai en quelques lignes la situation des bandes de la bordure nord et de la zone médiane qui, malgré mes recherches, ne m'ont présenté aucune trace de couche phosphatée appréciable. (Voir la carte, Pl. VII.)

A. *Bordure septentrionale.* — Cette zone de l'étage inférieur commence à l'est de l'Oued-el-Hakoum, au nord du Souk-el-Tléta des Douairs, sur le contrefort du Djebel-Rethal, au point coté 1049 sur la carte au 200.000^e, et se prolonge par le Djebel-Chaâba, le flanc du Djebel-Mergueb, le Djebel-Znekir (Znaker de la carte au 200.000^e), le Djebel-Chaïba, le Djebel-Guetrana jusqu'au flanc méridional du Dira, sur une étendue d'environ 70 kilomètres. Le terrain, bien visible à distance, est constitué par des marnes blanches crayeuses surmontées de calcaires à silex et de calcaires marneux blancs, au sommet desquels se trouvent quelques couches marneuses très rares à *Nummulites planulata* (Znekir).

L'épaisseur de cet ensemble peut atteindre 150 mètres dans lesquels je n'ai reconnu ni couche glauconieuse, ni couche phosphatée. Le facies est à peu près identique à celui du suessonien de la région de Sétif.

B. *Zone médiane.* — La zone, qui s'étend entre le Djebel-Lakdar et la crête de Roumadia sur une longueur de 12 kilomètres environ, et qui reparaît à l'ouest du Bordj de Chellala des Adaoura, présente la même constitution, et la même absence de couches phosphatées. C'est également ce facies qui se reproduit au nord du Djebel-Naga (Sidi-Aïssa), où les alternances de calcaires blancs et de marnes blanches surmontant les calcaires à silex se montrent également dépourvues de lits phosphatés.

Il nous reste à examiner la bande méridionale, dont le principal développement apparaît au voisinage de Boghari, s'étendant vers l'est au delà de Moul-Adam, et qui renferme les couches de phosphates de chaux faisant l'objet particulier de cette note.

C. *Zone méridionale.* — Les affleurements de l'assise supérieure du suessonien inférieur peuvent se grouper en trois bandes de largeur très inégales : l'une au sud de Boghari et au nord d'Aïn-Sba, les deux autres à l'est et à l'ouest de Boghari.

La zone d'Aïn-Sba étant la plus intéressante, tant par sa situation que par la nature de ses affleurements, je commencerai par la description de cette région.

1^o Région d'Aïn-Sba.

De chaque côté de la route de Laghouat, à la hauteur du 6^e au 7^e kilomètre de Boghari, s'étend une ligne de hauteurs, assez régulière à l'ouest dans le *Drâ-el-Abiod* et se relevant à l'est en un sommet remarquable, qui est le *Mou-et-Ettin*. C'est la première ride d'une série d'ondulations aux lignes de crêtes rocheuses, qui viennent se terminer à la plaine de Bou-Gzoul. Tous ces tronçons, que coupe obliquement la route, sont constitués par les argiles et grès du suessonien supérieur, dont les couches, inclinées d'une manière presque constante au nord, sont

affectées d'un bombement anticlinal et de failles, qui en réduisent la puissance apparente. Je n'ai pas rencontré, dans cette partie, au sud d'Ain-Sba, de zone pouvant se rapporter à l'étage inférieur, qui me paraît cantonné à la bordure nord, dans le Drâ-el-Abiod et le Mou-et-Ettin, dont je vais examiner la constitution avec quelques détails.

A. *Drâ-el-Abiod*. — Ce chaînon, dont la ligne de faite régulière, à peine ondulée vers l'ouest, domine de 80 à 100 mètres la plaine d'alluvions qui borde la rive gauche du Chélif au sud, est, comme l'indique son nom (la Crête blanche), constitué par des couches blanches, dont les parties supérieures montrent des strates d'une admirable régularité, sensiblement parallèles à l'horizontale sur le revers sud, avec une inclinaison d'environ 15° au nord-nord-ouest.

Cette ligne de hauteurs suit une direction sensiblement rectiligne, depuis le bord du Chélif vers l'ouest-sud-ouest, sur une longueur d'environ 4 kilomètres. Entre le Chélif et la route, un chaînon, oblique au précédent, forme une série de mamelons dont l'orientation est due à un relèvement des couches d'abord vers l'est, puis vers le nord, donnant lieu à une cuvette synclinale, dont l'axe est occupé par le Chélif et par l'un de ses petits affluents de l'ouest.

La disposition des couches suessonniennes dans ce petit bassin est indiquée dans les croquis suivants (fig. 1 et 2), que l'absence d'une bonne carte ne me permet de présenter que d'une manière approximative.

Cette double rangée de collines occupe une étendue d'environ 4 kilomètres sur une largeur de 1.500 mètres à 2 kilomètres, c'est-à-dire une superficie approximative de 6 à 7 kilomètres carrés.

Au nord-ouest, le suessonien inférieur est recouvert

en discordance par les argiles et grès à *Ostrea bogharensis* de l'étage supérieur, qui empiètent également dans la partie médiane du synclinal, avec poudingues à galets de silex noirs à la base.

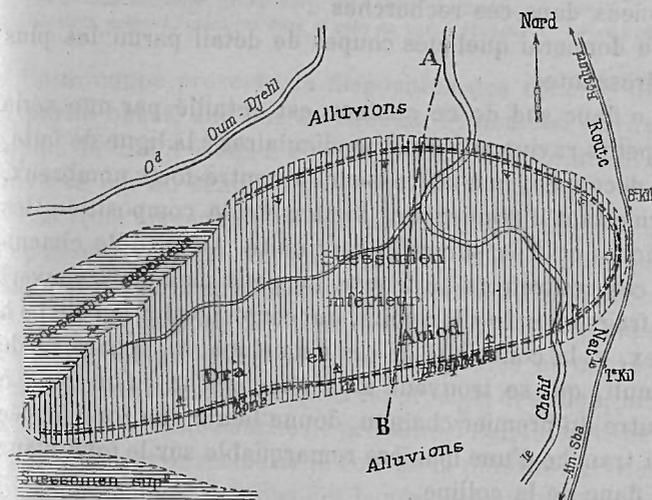


Fig. 1. Disposition du lambeau suessonien et des couches à phosphates au Drâ-el-Abiod.

Echelle approximative $\frac{1}{50.000}$.

Obs. Les lambeaux suess. sup. de la partie centrale n'ont pas été indiqués.

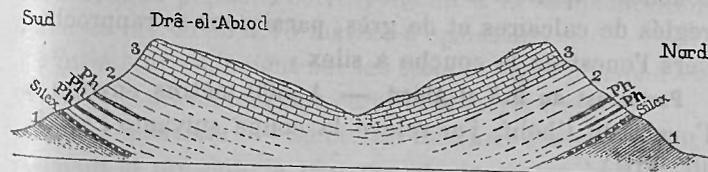


Fig. 2. Profil suivant la ligne AB. Coupe schématique du Drâ-el-Abiod

Echelle approximative $\frac{1}{25.000}$.

1. Argiles à gypse; glauconie à la partie supérieure.
2. Marnes et calcaires marneux blancs, avec lits de phosphates Ph.
3. Calcaires et grès.

Le suessonien inférieur constitue toute cette zone et renferme à plusieurs niveaux des couches de phosphates

de chaux, dont j'ai relevé la situation pas à pas sur toute l'étendue du Drâ-el-Abiod. M. Gentil, préparateur au Collège de France, et collaborateur à la Carte géologique, qui m'accompagnait dans cette tournée, m'a été un aide précieux dans ces recherches.

Je donnerai quelques coupes de détail parmi les plus intéressantes.

Le flanc sud de ce chaînon est entaillé par une série de petits ravinelements perpendiculaires à la ligne de faite, qui découpent une succession de contre-forts nombreux, permettant d'étudier très facilement la composition des couches et d'en suivre la continuité. Au pied de chacun de ces contreforts se trouve un petit mamelon couvert de fragments de silex noirs, qui correspond à la couche à silex, et la continuité de ces mamelons, à l'apparence de tumuli, qui se trouvent au même niveau, d'un bout à l'autre du premier chaînon, donne lieu à une zone foncée qui tranche d'une manière remarquable sur le fond blanc du flanc de la colline.

Au-dessus de cette zone à silex se montre une assise blanche, composée de marnes et calcaires marneux, dont l'épaisseur diminue de l'est à l'ouest, en sorte que les couches supérieures, constituées par des bancs bien réglés de calcaires et de grès, paraissent se rapprocher vers l'ouest de la couche à silex.

Partie est du Drâ-el-Abiod. — A 500 mètres environ à l'ouest du Chélif, j'ai relevé la coupe suivante (*fig. 1*, Pl. VIII) :

A. Argiles schisteuses brunes, intercalées d'un lit de calcaire marneux et de couches glauconieuses, environ.	33 ^m ,00
a. Argiles à gypse.	
b. Argiles brunes.	
c. Sables glauconieux; Ph, traces de phosphate.	
d. Calcaire marneux.	
B. Couche de silex noirs; épaisseur.	2 ^m ,00 à 3 ^m ,00
C. Marnes blanches et calcaires marneux, avec lits phosphatés.	
1. Marnes blanches, environ.	20 ^m ,00
Ph ¹ 1 ^{er} niveau à phosphate sableux.	0 ^m ,75 à 1 ^m ,50

2. Calcaires blancs et jaunâtres	8 ^m ,00 à 10 ^m ,00
Ph ² 2 ^e niveau phosphaté, dents de squales.	0 ^m ,30 à 0 ^m ,50
3. Calcaires avec intercalations sableuses	10 ^m ,00
Ph ³ 3 ^e niveau, sableux avec concrétions.	0 ^m ,50 à 1 ^m ,00
4. Alternances de calcaires blancs, calcaires sableux et grès, environ	20 ^m ,00
Ph ⁴ Couche mince, grumelleuse, avec dents de squales.	0 ^m ,05
D. Calcaires gréseux, calcaires durs et grès en bancs rocheux.	30 ^m ,00 à 40 ^m ,00

Cette coupe présente la disposition des couches dans la partie ouest, sur une étendue de 1 kilomètre environ, depuis le Chélif jusqu'à une dépression qui forme un col traversé par un sentier muletier.

Les trois niveaux de phosphates de chaux augmentent d'épaisseur de l'est vers l'ouest; on voit qu'ils appartiennent entièrement à l'assise C, supérieure à la couche de silex. En dessous des silex, on ne trouve que quelques lits glauconieux, avec nodules phosphatés et dents de squales dans la couche la plus rapprochée des silex, mais l'existence de cette couche ne présente qu'un intérêt théorique. Il en est de même de la couche la plus élevée située immédiatement en dessous des bancs rocheux qui forment l'assise supérieure D. L'existence de cette faible couche indique que les conditions qui ont présidé au dépôt de ces zones phosphatées se sont prolongées durant une assez longue période, correspondant à la sédimentation d'une assise de 60 à 70 mètres d'épaisseur.

J'insisterai seulement sur les trois niveaux phosphatés qui, seuls, présentent une certaine importance.

Couche inférieure. — Le niveau inférieur Ph¹ est le plus constant et présente la plus grande épaisseur, qui n'est jamais inférieure à 0^m,75 et qui dépasse 1^m,50 vers l'ouest; la couche est sableuse, gris jaunâtre, et formée de petits grains de phosphate de chaux avec une quantité de nodules blanchâtres. On y rencontre de nombreuses dents de squales, *Lamna*, *Oxyrhina*, et une quantité de petits gastropodes à l'état de moules phosphatés; vers l'ouest, cette couche se subdivise par l'intercalation de lits mar-

neux. La teneur en phosphate de chaux, d'après les analyses de M. Simon, contrôleur des mines, faites au laboratoire des mines d'Alger, présente une moyenne de 30 à 35 p. 100, avec un maximum de 40,6 p. 100, pour les échantillons recueillis à la surface.

Couche moyenne. — Cette couche est moins épaisse et ne dépasse guère 0^m,50 à l'affleurement, mais elle est la plus riche en débris fossiles; les dents de squales y abondent, ainsi que les vertèbres et les os de reptiles, dont M. Gentil, à chaque coup de marteau, faisait sortir des fragments. Cette couche est plus calcaire que la précédente, un peu moins riche en phosphate de chaux, dont l'analyse a révélé une proportion de 22 à 35 p. 100; la roche est un peu plus compacte que dans la couche précédente, mais très facilement exploitable.

Couche supérieure. — Le banc présente la même composition et le même aspect que la couche moyenne Ph², et présente une épaisseur qui varie sensiblement de 0^m,50 à 1 mètre.

L'assise marno-calcaire, qui renferme ces couches phosphatées, diminue progressivement d'épaisseur vers l'ouest, où elle se réduit à 40 mètres environ, en sorte que les couches phosphatées se resserrent et se trouvent à des intervalles plus rapprochés.

Je tiens à remarquer que, malgré mes recherches, je n'ai rencontré dans l'assise supérieure, aucune trace de couche à Nummulites.

Sur le revers nord, à partir de la crête, les couches sont surmontées d'une série de bancs calcaires bien réglés, sans fossiles, avec quelques intercalations de grès; l'épaisseur totale de cette assise atteint 120 mètres, à l'extrémité de ce petit chaînon. Il en résulte que la puissance des assises supérieures du suessonien inférieur dépasse ici 180 mètres, depuis le niveau des silex noirs.

La coupe précédente nous montre que l'assise qui

surmonte le banc de silex renferme en moyenne trois couches de phosphate gris sableux, dont l'épaisseur totale varie entre 2 et 3 mètres, et dont la teneur en phosphate de chaux oscille entre 28 et 40 p. 100 dans les affleurements. Mais il est probable que, dans la profondeur la richesse en phosphate augmente, ainsi qu'on l'a reconnu dans l'exploitation du Djebel-Dyr de Tébessa.

Ces couches sont friables, d'une exploitation très facile, et présentent une extrême régularité d'allures, les affleurements se maintenant suivant des lignes horizontales sur plus d'un kilomètre en ce point, avec une inclinaison régulière et constante d'environ 15° vers le nord.

La dépression qui limite à l'ouest ce premier tronçon est produite par une légère inflexion, avec faille, des couches qui reparaisent, du reste, à peu de distance, avec une parfaite régularité dans le prolongement du premier chaînon, formant une ligne un peu plus mamelonnée, qui s'étend à l'ouest sur 2 à 3 kilomètres.

Partie ouest du Drâ-el-Abiod. — Les mêmes assises se prolongent avec quelques modifications, et dans ce tronçon de l'ouest, à 1 kilomètre du col, on observe la coupe suivante (voir la Pl. VIII, fig. 2) :

A. Argiles brunes et verdâtres à cristaux de gypse, surmontées de marnes blanches et bleuâtres, avec intercalations glauconieuses et phosphatées, épaisseur.	30 ^m ,00
a. Argiles à gypse.	
b. Argiles brunes et verdâtres.	
c. Grès glauconieux.	
d. Marnes blanches.	
{ (Ph) ¹ 1 ^{er} niveau phosphaté à nodules, épaisseur.	0 ^m ,30
{ (Ph) ² 2 ^e niveau, avec glauconie	0 ^m ,30 à 0 ^m ,40
B. Banc de silex noirs rognonneux	1 ^m ,00 à 2 ^m ,00
C. Marnes blanches et calcaires marneux, avec lits sableux, intercalés de couches phosphatées.	
1. Marnes et calcaires marneux, avec lits sableux : niveau du <i>Nautilus Forbesi</i>	10 ^m ,00
Ph ¹ 1 ^{er} niveau à phosphates sableux.	1 ^m ,00 à 1 ^m ,50
2. Marnes et calcaires marneux.	10 ^m ,00
Ph ² 2 ^e niveau phosphaté, très mince	0 ^m ,10 à 0 ^m ,15

Ph ³ 3 ^e niveau, couche grumeleuse	0 ^m ,30
3. Sables et grès friables	7 ^m ,00 à 8 ^m ,00
Ph ⁴ 4 ^e niveau, couche mince	0 ^m ,15
4. Calcaires marneux et gréseux	10 ^m ,00 à 15 ^m ,00
D. Grès et calcaires en gros bancs, calcaires jaunes sableux, calcaires marneux et gréseux	60 ^m ,00 à 80 ^m ,00

Observations sur cette coupe. — On peut remarquer, en comparant avec la coupe précédente :

1^o Que les couches phosphatées deviennent ici d'une certaine importance dans l'assise infra-siliceuse, mais ces lits sont glauconieux et assez pauvres en phosphates de chaux; la roche est plus dure que dans les couches supérieures.

2^o Au-dessus des silex, il n'existe plus qu'un niveau important Ph¹ sableux, avec nombreuses dents de squales, petits gastropodes, qui se trouve dans le prolongement du niveau inférieur de la coupe précédente. Les trois niveaux qui surmontent ont une faible importance, et tendent à s'atténuer et à disparaître, à mesure qu'on s'éloigne vers l'ouest.

3^o On peut remarquer encore que l'assise marno-calcaire, qui renferme ces lits de phosphates est réduite ici à moins de 30 mètres, et qu'elle diminue de plus en plus vers l'ouest, ce qui correspond à une réduction des couches phosphatées.

Nous avons observé, sur ce versant, la continuité de cette couche importante Ph¹, qui diminue de plus en plus, et ne montre, à l'extrémité ouest de ce chaînon, qu'une épaisseur de 0^m,40.

Dans cette partie, j'ai rencontré, dans la couche immédiatement inférieure aux silex, des nodules volumineux cordiformes, dont la surface est impressionnée de petites stries ondulées régulières, et disposées sensiblement de la même manière sur chaque échantillon. Ces nodules sont formés de débris de phosphates dans une gangue siliceuse; quelques-uns renferment des fragments de

dents, et même une dent de squalé intacte. Nous avons pensé, d'après l'opinion de M. Pomel, que ces concrétions pouvaient provenir d'un dépôt pierreux des organes digestifs de squales, dont les villosités de la membrane interne auraient laissé leur empreinte à la surface.

Résumé sur le Drâ-el-Abiod. — Ce chaînon, d'une longueur d'environ 4 kilomètres, renferme, dans l'assise supérieure aux silex, plusieurs couches de phosphates de chaux, dont l'épaisseur moyenne peut être évaluée au total à 2 mètres au minimum, et dont les affleurements se poursuivent d'une manière parfaitement régulière, à flanc de coteau à une hauteur de 40 à 50 mètres au-dessus de la plaine d'alluvions qui s'étend au pied du chaînon.

Extension à l'ouest. — Ce chaînon disparaît sous les atterrissements de la vallée de l'Oued Oum-Djelil, mais dans le prolongement à l'ouest, on distingue une ligne de collines basses, que leur aspect blanchâtre permet de rattacher au suessonien inférieur. Il est probable que ces collines ne renferment que des traces faibles de couches phosphatées, de même nature que celles que j'ai observées dans l'ouest de Boghari et que j'examinerai plus loin.

Collines entre la rive droite du Chélif et la route. — Le chaînon de Drâ-el-Abiod est entamé à l'est par la coupure du Chélif, qui correspond sensiblement à l'axe synclinal. Sur la rive droite, au voisinage de la route, entre le 6^e et le 7^e kilomètre, à partir de Boghari, les affleurements des couches se présentent dans des conditions très favorables.

On peut suivre sur le flanc de ces mamelons la couche à silex, remarquablement continue, et les assises supérieures, qui présentent quelques modifications dans leur composition par rapport à celles du Drâ-el-Abiod.

En face du 6^e kilomètre, à l'ouest de la route, on peut relever la coupe suivante (Pl. VIII, fig. 3) :

- A. Argiles brunes à gypse et argiles grises :
 a. Argiles brunes gypseuses.

b. Argiles grises.	
c. Sables et grès; traces de glauconie.	
B. Couche de silex en rognons dans des marnes blanches.	2 ^m ,50 à 4 ^m ,00
b. Argiles grises.	
C. Calcaires marneux et marnes blanches :	
1. Sables glauconieux et phosphatés à dents de squales et <i>Ostrea cf vesicularis</i>	0 ^m ,25
Ph ¹ Traces de phosphates.	
2. Calcaires marneux et marnes blanches.	30 ^m ,00
Ph ² Couche de phosphate, épaisseur.	1 ^m ,00 à 1 ^m ,50
n Niveau du <i>Nautilus Forbesi</i> .	
3. Calcaires et marnes	25 ^m ,00 à 30 ^m ,00
D. Grès calcaires et grès sableux.	

Je n'ai pas vu de traces de phosphates en dessous des silex; la première couche, qui surmonte presque immédiatement le banc de silex, est très glauconieuse, faiblement phosphatée.

Dans toute cette succession, que j'ai recoupée en plusieurs points, il ne me paraît exister qu'une seule couche de phosphates, qui est très importante et constante, et dont l'épaisseur moyenne est au moins de 1 mètre. Cette couche sableuse, formée de grumeaux de phosphate de chaux, est remplie à la partie supérieure de petits gastropodes et bivalves; elle est identique par son aspect et sa composition à la couche principale du flanc sud du Drâ-el-Abiod (*fig. 1 et 2, Pl. VIII*). Elle est remarquablement continue, et l'étendue des affleurements est augmentée par les nombreux ravinements qui découpent une série de mamelons, sur les flancs desquels on peut suivre la couche. La teneur en phosphate de chaux, d'après les analyses de M. Simon, est en moyenne de 30 à 35 p. 100.

Cette couche se développe sur tout le flanc nord des collines qui bordent la rive droite du Chélif. Sa position à flanc de coteau, au voisinage immédiat de la route, la rend particulièrement propice à un essai d'exploitation.

En se dirigeant vers l'ouest, cette couche diminue d'épaisseur; mais on voit paraître, en dessous du banc à silex, un lit glauconieux à gros nodules phosphatés, coprolithes, qui atteint 0^m,25 à 0^m,30 d'épaisseur, et qui est remarquable par l'abondance de ces gros nodules cordiformes, à surface impressionnée, dont il a été question plus haut. A un niveau inférieur se rencontrent encore des lits glauconieux et phosphatés, sans importance.

Résumé sur cette région. — D'après l'étude des affleurements que j'ai suivis sur toute la bordure, et dont j'ai exposé ci-dessus les points les plus caractéristiques, il me paraît indiscutable que les couches à phosphates de chaux s'étendent sur toute la superficie de cette zone de collines que j'ai évaluée approximativement à 6 ou 7 kilomètres carrés. La ligne d'affleurement se présente sur plus de 8 kilomètres.

Les couches de phosphates sont loin d'être régulières et continues; ainsi qu'il résulte de la nature de ces dépôts, elles peuvent s'atténuer, disparaître, en même temps que d'autres, à peine indiquées dans les affleurements, peuvent prendre plus d'importance en profondeur. Dans toutes les coupes, sauf à l'extrémité ouest, l'épaisseur totale des couches phosphatées peut atteindre 2 mètres; cette épaisseur est dépassée dans la partie du chaînon sud qui s'étend à l'ouest du Chélif. Le plissement synclinal est régulier, en sorte qu'il n'y a pas à craindre que des failles importantes viennent compliquer les difficultés des recherches; les couches se continuent certainement d'une bordure à l'autre, comme l'indique la *fig. 2*.

En admettant cette évaluation moyenne de 2 mètres, cette bande suessonienne renfermerait 6.000.000^m² × 2, ou 7.000.000^m² × 2, soit 12 ou 14 millions de mètres cubes de phosphates ou sables phosphatés, dont nous pouvons évaluer, d'après les nombreuses analyses, la

teneur moyenne à 30 ou 35 p. 100 de phosphate de chaux.

L'exploitation en serait des plus faciles, et la proximité du Chélif permettrait un lavage et l'enrichissement des phosphates sur place pendant une partie de l'année.

J'ai insisté avec quelques détails sur ce point, qui se trouve dans les conditions les plus favorables parmi les gisements que j'ai reconnus dans cette région de Boghari.

B. *Aïn-Sba*. — Il me paraît intéressant de signaler, malgré sa faible étendue, un îlot de suessonien inférieur qui existe, à 150 mètres à l'est de la maison cantonnière d'Aïn-Sba, au pied de l'escarpement des grès du Guettar, appartenant au suessonien supérieur.

Ce lambeau est recouvert en discordance par les petits poudingues et grès, qui constituent ici la base de l'étage supérieur; l'affleurement ne dépasse pas 100 mètres, et constitue un mamelon sur le flanc duquel on observe :

A la base. — 1° Argiles brunes avec gypse visibles sur	40 ^m ,00
2° Couche de silex zonés, dont les blocs énormes sont éboulés sur les pentes	1 ^m ,50
3° Couche de marnes blanches et calcaires marneux renfermant des nodules phosphatés avec dents de squales	7 ^m ,00 à 8 ^m ,00
Cette couche renferme un petit lit de marne calcaire phosphatée avec glauconie.	
4° 2° banc de silex zonés	1 ^m ,50 à 2 ^m ,00
5° Calcaires marneux blancs et grisâtres, avec gastropodes, bivalves et Echinides (<i>Schizaster</i>).	

Ces calcaires sont tronqués obliquement et recouverts en discordance par les poudingues et grès, avec fragments de silex empâtés, qui forment la base de la puissante série de grès de l'escarpement du Guettar, d'où provient la source d'Aïn-Sba.

Cet îlot suessonien inférieur est complètement isolé, et entouré par les argiles et grès du suessonien supérieur, qui forment le mamelon contigu immédiatement à l'est. Il est du reste sans importance au point de vue du gisement de phosphates.

Les recherches faites au voisinage n'ont pas permis de reconnaître d'autres lambeaux de cette formation; toute cette région accidentée, à l'est et à l'ouest dans le Djebel-Gourin, est constituée par le suessonien supérieur.

Il est intéressant de constater ici l'existence de deux couches à silex, entre lesquelles s'intercale la zone phosphatée; ce point présente déjà une différence notable avec le Drâ-el-Abiod, bien qu'il n'en soit éloigné que de 2 kilomètres au sud, et à peine de 1.500 mètres du Mou-et-Ettin, dont je vais m'occuper.

G. *Coudiat Mou-et-Ettin*. — A 3 kilomètres environ à l'est de la route de Laghouat, à la bordure sud de la plaine des Ouled-Mokhtar, s'élève une protubérance remarquable, qui domine toute la région avoisinante, et du sommet de laquelle la vue s'étend au loin vers le sud; sur toute la région des plateaux et les chaînes des Zahrez. C'est une montagne isolée en quelque sorte des chaînons voisins, à laquelle se rattache à l'est une saillie allongée, dont elle est séparée par la dépression d'Aïn-Zréa. Cette double montagne porte le nom de Mou-et-Ettin. Elle est constituée par l'assise supérieure de l'étage suessonien inférieur, reposant sur le soubassement argileux de l'assise inférieure, qui s'étend au nord jusqu'au pied du massif des M'Fatha.

Dans la masse culminante, les couches sont très faiblement inclinées au sud, avec relèvement vers l'ouest. Sur le flanc sud, la formation est entièrement arasée, ainsi que le montre la superposition discordante des poudingues et grès de l'étage supérieur sur le flanc de l'escarpement d'Aïn-Guettar. Les relations de ces deux étages sont ici du plus remarquable enseignement, ainsi que l'indique la coupe générale donnée *fig. 4*, Pl. VIII :

Suessonien inférieur.	}	A. Argiles brunes à gypse, très puissantes, environ	200 ^m
		B. Banc de silex.	
		C. Marnes blanches et calcaires marneux, environ	50 ^m
		Ph Couche phosphatée.	
Suessonien supérieur.	}	D. Calcaires en bancs réglés, épaisseur.	150 ^m
		p Poudingues à débris roulés de silex et de calcaires de l'étage précédent.	
		mg Marnes, argiles jaunes et grès en gros bancs.	

La stratification est très régulière, les couches se relèvent sur chaque flanc, mais d'une manière inégale. La couche à silex est nettement indiquée et se trouve à un niveau peu élevé au-dessus des premières pentes. On retrouve ici d'une manière générale la même succession et la même épaisseur qu'au Drâ-el-Abiod, les différences portent sur la distribution des couches qui sont ici presque uniquement composées de calcaires en bancs bien réglés, dans l'assise supérieure qui forme le couronnement de la montagne. Les fossiles sont rares dans ces couches, et se réduisent à quelques moules de bivalves et de gastropodes; je n'ai pas rencontré, pas plus qu'au Drâ-el-Abiod, de calcaires à Nummulites. Les pentes sont généralement couvertes d'éboulis ou présentent des talus assez escarpés qui empêchent de relever la coupe détaillée sur toute la bordure.

Sur le flanc ouest, on peut relever la coupe suivante :

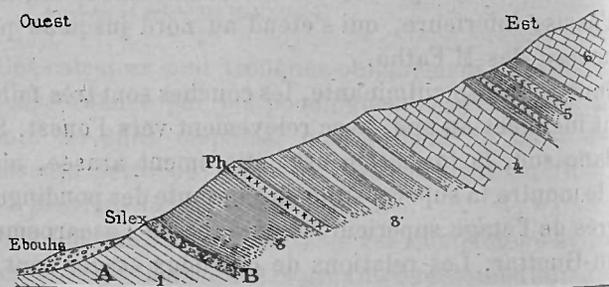


Fig. 3. — Coupe sur le flanc ouest de Mou-et-Ettin :

1. Argiles à gypse recouvertes d'éboulis de silex et de calcaires blancs.
2. Banc de silex.

3. Marnes blanches et calcaires marneux, épaisseur.	10 ^m
Ph <i>Sable phosphaté avec dents de squales</i>	1 ^m
3'. Marnes blanches et calcaires blancs, environ.	40 ^m
4. Calcaires en bancs réglés.	
5. Calcaires et marnes.	
6. Calcaires, etc.	

La coupe ne présente ici qu'une seule couche phosphatée, sableuse, pauvre en phosphate de chaux, ne renfermant que 18 p. 100 en moyenne dans les échantillons recueillis à la surface. Elle paraît se poursuivre sur tout le pourtour de la montagne.

A l'est, on rencontre, à Ain-Zréa, un lambeau de poudingues et grès de l'étage supérieur, appliqué en discordance sur le flanc des couches calcaires du suessonien inférieur. Ces grès, repliés en synclinal, sont le réservoir qui alimente la source d'Ain-Zréa. Dans cette partie, le Mou-et-Ettin de l'est, les couches calcaires du suessonien sont ondulées par des plissements faibles.

Sur le flanc est, où les couches sont relevées, on observe au-dessus des argiles brunes inférieures, la superposition d'une série semblable à celle de la coupe ci-dessus (fig. 3). A 10 mètres au-dessus de la couche à silex, se trouve une couche de sables phosphatés, à dents de squales, de même composition que ceux du flanc ouest du Mou-et-Ettin, et dont l'épaisseur varie de 0^m,50 à 1 mètre.

Il en résulte que le suessonien inférieur de Mou-et-Ettin renferme une couche phosphatée pauvre, dont l'épaisseur moyenne est de 1 mètre, qui se poursuit sur tout le pourtour, sur une superficie que l'on peut évaluer, d'une manière absolument approximative, à 3 ou 4 kilomètres carrés.

On voit ainsi que l'importance de cette zone phosphatée diminue en allant vers l'est; je montrerai plus loin qu'à Moul-Adam, le niveau phosphaté fait complètement défaut au-dessus des silex.

A l'est de Mou-et-Ettin, l'assise supérieure disparaît,

et le suessonien inférieur est réduit à l'assise argileuse qui s'étend au nord-est au pied du Djebel-Er-Rous, où se retrouve l'assise des marnes blanches et calcaires avec lit de silex. Au sud, toute la zone accidentée qui borde le plateau est constituée par les grès de l'étage supérieur avec pointements de gypse à travers les argiles du suessonien inférieur.

J'examinerai maintenant la bande qui s'étend à l'est de Boghari jusqu'à Moul-Adam.

2° A l'est de Boghari.

Le suessonien inférieur est représenté, au flanc sud du massif des M'Fatha, par une bande étroite, qui commence un peu à l'ouest du Chabet-Nouel, et qui se prolonge vers l'est au pied du Mahalla-Maskrota, des Kifan-el-Hammam, avec quelques interruptions. Dans le Djebel Er-Rous, cette zone s'élargit, se dégage du massif gréseux de l'étage supérieur, pour former une crête remarquable au Djebel-Moul-Adam et au Moul-Feidjel, qui s'abaisse vers l'est, en sorte que l'étage suessonien inférieur se trouve réduit au delà à l'assise argileuse. Cette bande, à peu près continue, s'étend sur une longueur de 25 à 28 kilomètres.

J'examinerai cette bande dans ses deux points extrêmes, d'abord à l'ouest, au voisinage du Chabet-Nouel et au flanc du Djebel Gueddoul, et à l'est, au Djebel Moul-Adam.

A. *Au voisinage de l'Oued-Nouel.* — Dans cette partie, la zone du suessonien inférieur est réduite aux couches marno-calcaires d'épaisseur variable, recouvertes et masquées par le suessonien supérieur, dont les grès puissants forment les arêtes rocheuses et les escarpements du massif des M'Fatha.

Le premier affleurement apparaît à 9 kilomètres environ de Boghari, sur les pentes inférieures au sud d'une puissante saillie rocheuse, le Drâ-Tennoum, qui borde à l'ouest la vallée de l'Oued-Nouel.

La zone étroite de ce terrain se prolonge sur 500 mètres environ de l'ouest à l'est, dans une série de mamelons, dont les ravinements permettent de suivre les coupes détaillées. Cette bande correspond au pendage nord du large pli anticlinal dont l'axe principal correspond à la plaine des Ouled-Mokhtar.

La série des couches est sensiblement la même qu'au Drâ-el-Abiod, avec quelques lits de phosphates; l'épaisseur de l'assise est d'environ 50 mètres, correspondant à l'assise blanche qui surmonte le banc à silex; les couches supérieures sont tronquées obliquement avec des épaisseurs variables d'un point à l'autre, par les argiles à *Ostrea Bogharensis*, qui les recouvrent en discordance, formant la base de la puissante formation des grès de l'étage supérieur.

La coupe principale est donnée dans la *fig. 5*, Pl. VIII, et présente la série suivante :

Suessonien inférieur.	A. Argiles brunes à gypse.	
	Ph ¹ Couche <i>phosphatée</i> grise, dure, dents de <i>Lamua</i> , épaisseur.	1 ^m ,00
	B. Calcaires marneux à <i>silex</i>	1 ^m ,50
	Ph ² Marnes glauconieuses <i>phosphatées</i>	0 ^m ,60
	C. 1. Marnes et grès, épaisseur.	10 ^m ,00
	Ph ³ Glauconie avec grumeaux de <i>phosphates</i> , couche mince.	
	2. Marnes et calcaires marneux blancs	15 ^m ,00
	2*. Banc de grès.	
	3. Marnes feuilletées jaunes.	5 ^m ,00
	Ph ⁴ Couche <i>phosphatée</i> et glauconieuse.	0 ^m ,25
4. Marnes, calcaires et grès	15 ^m ,00	
	D. Grès et marnes gréseuses recouverts en discordance par :	
Suessonien supérieur.	m Argiles à cristaux de gypse avec lumachelles (<i>a, b</i>) d' <i>Ostrea</i> <i>Bogharensis</i> .	
	g Grès.	

On retrouve ici les petites couches phosphatées du

Drâ-el-Abiod, mais avec une importance et une teneur bien plus faibles.

La couche inférieure Ph¹, sous les silex, est la plus importante, la plus constante (1 mètre d'épaisseur), mais elle est dure, calcaire, et la proportion de phosphate de chaux paraît faible : 14 à 16 p. 100, d'après les analyses de M. Simon.

Les autres couches ne renferment que des traces de phosphates, sous forme de nodules et grumeaux dans la glauconie; les échantillons analysés n'accusent qu'une faible teneur.

En somme, cette zone étroite et localisée n'offre d'importance qu'au point de vue théorique par la présence des niveaux phosphatés, mais aucune des couches ne paraît susceptible d'exploitation.

A 3 kilomètres à l'est, en suivant la bordure de la montagne, on observe la continuité d'une bande étroite de suessonien inférieur, bien reconnaissable à sa teinte blanche, sous les argiles et grès jaunes qui la recouvrent et qui font partie de l'étage supérieur.

Les niveaux phosphatés y sont plus réduits que dans le lambeau précédent, mais présentent un plus grand intérêt par leur richesse en phosphate.

Au delà du Chabet-Nouel, sur les pentes inférieures du Djebel-Gueddoul, j'ai relevé la coupe suivante (fig. 6, Pl. VIII):

Suessonien inférieur.	A.	a. Argiles à gypse.	1 ^m
		b. Argiles schisteuses.	
		Ph ¹ Couche de phosphate avec gros nodules; vertèbres et dents de squalés, épaisseur.	
Suessonien supérieur.	B.	Marno-calcaires feuilletés avec silex.	
		Ph ² Sables glauconieux phosphatés, très pauvres en phosphate.	
Suessonien supérieur.	C.	Marnes et calcaires blancs et jaunes.	
		m Marnes et calcaires marneux à <i>Ostrea Bogharensis</i> .	
		g Grès.	

Le niveau phosphaté se réduit ici à une seule couche

inférieure immédiatement aux silex qui n'ont que l'épaisseur d'un seul lit de rognons dans les marnes calcaires. Cette couche est continue et régulière, et très riche en nodules assez volumineux, coprolithes, avec dents de *Lamna*, vertèbres de squalés, etc.; on y trouve *Ostrea cf. vesicularis*. L'un des échantillons analysés a donné à M. Simon une teneur de 44,84 p. 100 de phosphate de chaux, c'est l'échantillon de toute cette région qui a donné les résultats les plus importants; la distribution des grumeaux et nodules dans cette couche est variable et paraît surtout accentuée à la base. L'un de ces nodules a donné à l'analyse 67,85 p. 100 en phosphate de chaux.

La couche Ph² glauconieuse est sans importance.

On voit que, dans cette partie, contrairement à ce qui existe au Drâ-el-Abiod, le niveau phosphaté principal se place en dessous de la couche à silex.

Cette couche de 1 mètre présente par suite un certain intérêt; mais elle s'enfonce rapidement par suite d'une inclinaison de 25° environ.

Elle se poursuit vers l'est dans cette zone, et me paraît se continuer, avec quelques modifications, jusqu'au Moul-Adam.

B. *Djebel-Moul-Adam*. — En ce point, le suessonien inférieur constitue une ligne de crêtes saillantes très découpée et pittoresque par l'érosion des calcaires massifs qui couronnent la série des couches. L'aspect rocheux de ce chaînon rappelle le massif nummulitique du Dekma de Souk-Ahras, et aussi les saillies des masses calcaires nummulitiques des gorges de l'Isser (Palestro). Au nord se développe la puissante série des assises alternantes d'argiles et de grès du suessonien supérieur; au sud, la même formation vient butter par faille contre l'assise qui nous occupe, en sorte que la bande du suessonien infé-

rieur se trouve ici comme à l'ouest, réduite à une faible largeur. L'extrémité est de ce chaînon est limitée par une faille, en rapport avec la source importante d'Ain-Moul-Adam, qui fait de ce point un passage très fréquenté, dans cette région pauvre en fontaines. Cette faille est suivie d'une dépression qui sépare le Moul-Adam du Moul-Feidjel, chaînon orienté au sud-est avec l'allure plus monotone qui rappelle les chaînons d'Ain-Sba (Drâ-el-Abiod). Les rochers du Moul-Adam sont localisés sur une faible étendue, et, malgré la continuité stratigraphique, ne se poursuivent pas vers l'est.

Le pied du Djebel-Moul-Adam est couvert de fragments et de rognons de silex noirs affectant les formes les plus variées, qui s'étendent tout autour de la source et qui justifient la désignation de Oum-el-Adam (l'endroit des os) devenu par euphonie Moul-Adam, due à l'apparence d'os calcinés que présentent ces silex suessoniens.

Le flanc du Moul-Adam permet de relever, d'une manière très nette, la succession des couches; les parties inférieures sont plus ou moins masquées par ces éboulis de silex. Voici ce que l'on observe à 500 mètres environ à l'ouest de la source (*fig. 7, Pl. VIII*) :

Suessonien inférieur.	A. Assise argileuse inférieure.	a. Argiles brunes à cristaux de gypse.	
		b. Marnes blanches.	
		Ph Couche de phosphate avec glauconie.	0 ^m ,40 à 0 ^m ,50
		B. Banc de silex.	5 ^m ,00 à 6 ^m ,00
Suessonien supérieur.	C. Calcaires blancs, souvent rognonneux, en bancs lités, marneux avec fossiles, bivalves et gastro- podes, épaisseur.		80 ^m ,00
		D. Calcaires rocheux à Nummulites, épaisseur.	50 ^m ,00
	m	Argiles et marnes à <i>Ostrea Bogharensis</i> .	
	mg	Grès et poudingues, avec intercalations marneuses.	

Le suessonien inférieur, au-dessus de la couche de silex, est entièrement calcaire; les couches moyennes C, marneuses, plus ou moins abondantes en bivalves; les bancs supérieurs renferment des couches pétries de Num-

mulites, dans lesquelles dominant : *Nummulites Rolandi*, *Numm. irregularis*, *N. Pomeli*, *N. Biarritzensis*. Des lits marneux intercalés permettent de recueillir en quelques points des Nummulites libres.

Ces bancs à Nummulites prennent une allure plus irrégulière et constituent une sorte de lentille récifale, à la partie supérieure de l'assise calcaire. On voit, en effet, les bancs calcaires marneux remonter à un niveau plus élevé vers l'ouest, tandis que les calcaires à Nummulites diminuent d'épaisseur.

Du reste, l'absence complète des calcaires à Nummulites dans la puissante assise calcaire du Moul-Feidjel, à 1 kilomètre à l'est, et la disparition de ces calcaires à l'ouest, permet de considérer ces bancs à Nummulites comme une lentille puissante très localisée, puisqu'on n'en voit pas de traces dans la région du Mou-et-Ettin et du Drâ-el-Abiod, où la puissance totale de l'assise calcaire dépasse celle des couches de Moul-Adam.

Il n'existe pas de traces de phosphate ni de glauconie au-dessus du banc de silex, pas plus à Moul-Adam qu'à Moul-Feidjel à l'est. Les silex sont plus puissants ici que dans l'ouest, d'où l'accumulation des débris sur les pentes inférieures.

Je n'ai reconnu qu'une seule couche phosphatée immédiatement en dessous des silex; cette couche est de faible épaisseur (40 à 50 centimètres) et très glauconieuse; les échantillons analysés ont donné une proportion de 28 p. 100 de phosphate. Cette couche est généralement masquée par les éboulis et n'est visible que sur quelques points. L'importance de cette couche est trop faible pour qu'il en soit question autrement qu'à un point de vue théorique.

Le Moul-Feidjel, à l'est, reproduit exactement par la disposition de ses couches calcaires, la constitution du Mou-et-Ettin; je n'ai pas rencontré de couches de phos-

phates, ni au-dessous ni au-dessus des silex, l'épaisseur de l'assise calcaire supra-siliceuse atteint au moins 150 mètres.

Au delà de ce chaînon, qui s'abaisse rapidement vers l'est, l'étage inférieur n'est plus représenté que par l'assise argileuse inférieure, recouverte et dénivelée presque entièrement par les dépôts alluvionnaires des plateaux. Sur ces argiles du suessonien inférieur vient reposer directement la série argilo-gréseuse de l'étage supérieur qui forme toute la bordure des hauts plateaux en allant vers l'est jusqu'à plus de 30 kilomètres au pied du Djebel-Afoul. C'est seulement sur le versant est de cette ligne importante que se retrouvent des lambeaux du suessonien inférieur, démasqués par l'ablation de l'étage supérieur; je reviendrai sur ce point en examinant la région de Sidi-Aïssa.

Résumé. — Il semble, d'après cela, que le niveau phosphaté du flanc du Djebel-Gueddoul aille en diminuant d'importance, à mesure qu'on s'éloigne vers l'est, au point de disparaître entièrement, ce qui concorde avec l'absence de ces couches phosphatées dans le Djebel-Birin, étudié par M. Blayac.

La zone de l'est de Boghari ne présente donc d'intérêt qu'à l'égard de cette couche du flanc sud du Djebel-Gueddoul et du Maskrota, dont la teneur atteint 44,84 p. 100, et dont l'épaisseur de 1 mètre, au moins sur une étendue de plusieurs kilomètres, pourrait donner lieu à une exploitation future.

Mais l'existence des couches phosphatées dans cette région, à la base de l'assise calcaire du suessonien inférieur, explique la fertilité proverbiale des terres de culture des M' Fatha, des Ouled-Mokhtar et des Ouled-Mareuf.

3° A l'ouest de Boghari.

Il nous reste à examiner la zone qui s'étend, dans l'ouest de Boghari, entre le chemin de Teniet-el-Hâd (Sidi-Bouزيد) et la vallée de l'Oued Oum-Djelil, c'est-à-dire au sud et sud-ouest de Boghar.

Le suessonien inférieur constitue la base d'un plateau couronné par des nappes caillouteuses d'alluvions anciennes; de tous les côtés, ce terrain est plus ou moins recouvert par les dépôts plus récents, principalement par les marnes de l'étage cartennien. Les affleurements des couches sont, par suite, très limités et ne se présentent d'une manière nette que sur les berges des petits cours d'eau qui découpent ce plateau, principalement à la bordure nord, sur le flanc de l'Oued-Miel.

Ces affleurements se montrent à 6 ou 7 kilomètres de Boghari et à 1 kilomètre environ au sud du chemin de Teniet-el-Hâd.

J'ai relevé avec soin les coupes sur plusieurs points et sur une épaisseur visible de 40 mètres environ, j'ai reconnu la succession suivante :

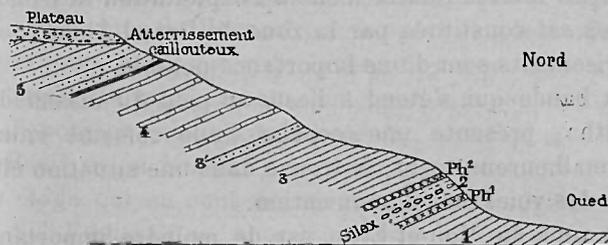


Fig. 4. — Coupe sur la rive droite de l'Oued Bir-Amara (6 à kilomètres à l'ouest de Boghari).

- | | |
|---|--------------------|
| 1. Argiles brunes feuilletées. | |
| Ph ¹ Couche de glauconie phosphatée dure, avec concrétions à la base, épaisseur. | 0 ^m ,30 |
| 2. Calcaire marneux blanc et marnes blanches renfermant un cordon de silex. | 1 ^m ,20 |
| Ph ² Couche glauconieuse phosphatée. | 0 ^m ,15 |

3. Marnes blanches et grises 12^m,00 à 15^m,00
 3'. Banc de grès.
 4. Alternances de marnes et calcaires marneux 20^m,00
 5. Grès en bancs bien réglés.

Les deux niveaux phosphatés se trouvent immédiatement au-dessus et au-dessous du cordon de silex, comme dans l'est de Boghari, mais les couches sont, d'abord d'une très faible épaisseur, très glauconieuses, dures, et d'un aspect très différent de celles rencontrées dans la région et signalées dans la description qui précède. Un échantillon a donné, à l'analyse de M. Simon, une teneur de 16,63 p. 100 en phosphate de chaux.

En résumé, ces couches ne présentent aucun intérêt au point de vue d'une exploitation possible.

RÉSUMÉ ET COMPARAISON.

Nous avons passé en revue toutes les zones du suessonien inférieur qui affleurent dans la région de Boghari, et nous pouvons en conclure que la seule partie qui présente un intérêt relativement à l'exploitation des phosphates est constituée par la zone du Drâ-el-Abiod, dont les gisements sont d'une importance notable.

La bande qui s'étend à l'est, au pied du massif des M'Fatha, présente une couche d'une certaine valeur qui, malheureusement, se trouve dans une situation éloignée des voies de communication.

La zone du Mou-et-Ettin est de moindre importance et d'un accès également difficile.

Ces gisements de phosphate de chaux se trouvent disséminés dans une même assise du suessonien inférieur, et leur existence à différents niveaux, ainsi que leurs relations avec les cordons et couches de silex noirs, indique qu'une action d'un caractère analogue a présidé à la

formation de ces dépôts, dans la première phase de la période suessonienne, aussi bien dans la partie centrale de l'Algérie que dans les régions orientales, où ces accumulations de phosphates ont pris une extension et une puissance plus considérables (Tébessa, Tunisie).

Les gisements de la région de Boghari ne peuvent être mis en parallèle avec ces zones remarquables, tant au point de vue de leur importance que de leur richesse en phosphate de chaux; cependant leur présence n'en constitue pas moins une réserve importante dont l'utilisation pourrait être tentée au bénéfice des terres de culture de la région littorale et de nos grandes plaines (Métidja, Chélif), où la nécessité d'un rajeunissement se fait depuis longtemps sentir.

Au point de vue de leur nature, les phosphates de la région de Boghari présentent une grande analogie avec ceux de la région de Soukahras par la présence des grumeaux et nodules abondants et parfois volumineux. Toutes ces zones se trouvent dans une situation stratigraphique analogue, et ces dépôts appartiennent à la même phase de la même période géologique.

Il est intéressant de constater également que la situation de cette zone de Boghari par rapport au suessonien inférieur sans phosphates de la bordure septentrionale de ce bassin (Douairs, Rebaïa, etc.) peut être rapprochée de la disposition relative du suessonien à phosphates de Bordj-Redir et du Mzeita (*), et des assises calcaires du même étage qui en sont dépourvues dans la région au nord, Sidi-Embarek et, plus loin, dans le voisinage de Sétif.

La constatation que nous avons faite de l'existence de couches phosphatées régulières dans la région de Bog-

(*) Blayac, *Description des gisements de phosphate de Tébessa et de Bordj-Redir* (*Ann. des mines*, septembre 1894).

hari, confirme les indications fournies par M. Pomel et par M. Ph. Thomas.

Les observations, qui ont été poursuivies dans l'ouest, sur le suessonien inférieur jusqu'au voisinage de Teniet-el-Hâd, par M. Repelin, collaborateur à la carte géologique, ne lui ont pas fait reconnaître de couches phosphatées appréciables, ce qui concorde avec la réduction rapide de ces couches à l'ouest de Boghari.

J'ai dit plus haut que les zones du suessonien inférieur qui apparaissent au pied sud du Djebel-Lakhdar dans les plis anticlinaux, sous les assises de l'étage supérieur, présentent, au point de vue des couches phosphatées, la même pénurie que dans la partie nord du massif.

Ce n'est qu'à l'extrémité orientale de ce massif suessonien, dans la région de Sidi-Aïssa, que se retrouvent les assises inférieures à phosphates, dont l'étude fera l'objet de la note suivante.

La carte ci-jointe (Pl. VII) a été établie par nous, au 200.000^e, pour le Service géologique de l'Algérie, sous la direction de MM. Pomel et Pouyanne, avec la collaboration de M. Blayac pour le Djebel-Birin et la région de Sidi-Aïssa. Nous avons consulté, pour cet ensemble, la carte dressée par M. Pierredon, ancien collaborateur du service, en 1887-88, qui a servi de base, pour cette région, à la Carte géologique provisoire de l'Algérie (1889).

NOTICE

SUR LES

TERRAINS A PHOSPHATE DE CHAUX

DE LA RÉGION DE SIDI-AÏSSA (ALGER)

Par MM. E. FICHEUR et J. BLAYAC,
Collaborateurs à la carte géologique de l'Algérie.

La région de Sidi-Aïssa forme, du côté de l'est, le prolongement terminal du massif suessonien de Boghari et du Titteri, dont il a été question dans la note précédente. Le suessonien inférieur à Nummulites et à dents de squales avait été reconnu autour de Sidi-Aïssa, par MM. Pomel et Pouyanne (1881), dont les observations ont été complétées par les recherches de M. Pierredon, chargé d'établir la carte géologique (*). La proximité d'une grande voie de communication, la route d'Alger à Bousaâda, place cette région dans des conditions relativement favorables; aussi était-il d'un grand intérêt d'étudier la distribution et l'importance des couches phosphatées du suessonien.

L'exploration faite par l'un de nous dans tout le massif depuis Boghari jusqu'à Sidi-Aïssa, a été poursuivie jusqu'à la limite de la région suessonienne à l'est (voir la carte, Pl. VII).

(*) Pomel, *Description stratigraphique générale de l'Algérie*.

Les deux étages du groupe suessonien, tels qu'ils ont été décrits dans la note précédente (*), s'y présentent dans leur ensemble avec les mêmes caractères lithologiques. Nous avons montré que l'étage inférieur disparaissait à la bordure méridionale, sous les atterrissements des plateaux, sous lesquels se présentent seulement de places en places des témoins de l'assise argilo-gypseuse inférieure qui nous paraît former le substratum de ces dépôts alluvionnaires. L'étage supérieur, avec ses grès à stratification nette, plissés suivant plusieurs rides dont la direction est toujours sensiblement orientée de l'est à l'ouest, constitue tout le massif montagneux, qui va en s'abaissant vers le sud, depuis les crêtes élevées du Djebel-Lakhdar (1.464 mètres), et les saillies culminantes du Kef-Msail et du Kef-el-Guern (1.423 mètres). Les zones étroites de l'étage inférieur, qui paraissent dans l'axe d'un pli anticlinal au flanc sud du Djebel-Lakhdar, et à l'extrémité est de cette arête, sont constituées par les marnes blanches et calcaires marneux, avec zone à silex, identiques à l'assise du nord, du Djebel-Chatba et Djebel-Guetrana, et présentent la même pénurie de couches phosphatées. On peut facilement étudier la zone étroite qui vient se terminer au bordj de Chellala.

Ce n'est qu'à l'extrémité est du Djebel-Afoul, sur les dernières pentes du Kef-Afoul, que se retrouvent quelques îlots restreints du suessonien inférieur à phosphates, mais ce terrain reparait avec un développement important, au nord et à l'est de Sidi-Aïssa.

Nous examinerons les points principaux en allant de l'ouest à l'est, d'abord le Kef-Afoul, puis les environs de Sidi-Aïssa.

(*) Ficheur, *Étude géologique sur les terrains à phosphate de la région de Boghari.*

1° KEF-AFOUL.

Le Djebel-Afoul forme une crête remarquablement isolée et culminante sur toute la région voisine, tant au nord qu'au sud; il est constitué à peu près uniquement par les grès et marnes à *Ostrea Bogharensis* du suessonien supérieur, qui prennent sur le flanc nord un développement puissant, de plus de 600 mètres d'épaisseur; les grès renferment çà et là des fossiles, Turritelles, Pectens, Anomies, etc., principalement au pied du Kef-Tougguer, au flanc nord. Ces bancs de grès présentent le même aspect que dans la région de Boghari, et la même monotonie de composition. Ce n'est qu'à l'extrémité orientale, au pied du Kef-Afoul, que l'on rencontre quelques îlots du suessonien inférieur qui se distinguent par leur teinte blanche crayeuse des bancs jaunâtres des grès supérieurs qui les recouvrent et les entourent. Ces îlots sont très restreints: quelques centaines de mètres seulement d'étendue; mais leur composition nous montre l'extension des couches phosphatées dans cette zone.

Il est très probable que les dernières collines qui accidentent très faiblement la bordure du plateau au sud du Djebel-Afoul, renferment également quelques lambeaux minimes du suessonien inférieur; l'aspect de la région, que nous avons examinée avec soin, n'a présenté aucune indication à cet égard, et il était d'un intérêt secondaire de rechercher dans une foule de ravins des lambeaux sans importance.

Dans l'un des îlots, sur le flanc est du Kef-Afoul, on relève la coupe suivante (fig. 1, Pl. IX):

Suessonien inférieur.	a	Marnes blanches et grises, épaisseur.	10 ^m
	Ph	Couches phosphatées grisâtre, à dents de squales.	1 ^m à 1 ^m ,50
	b	Marnes blanches	2 ^m
	B	Silex noirs rognonneux	1 ^m
	C	Calcaires blancs marneux visibles sur.	20 ^m

Suessonien supérieur.	}	<i>g</i> Grès avec fragments roulés des calcaires sous-jacents; <i>Ostrea bogharensis</i> à la partie supérieure.
		<i>p</i> Poudingues à débris roulés de silex provenant de l'assise sous-jacente.
		<i>mg</i> Argiles et grès; <i>g</i> ₁ , lumachelle d' <i>Ostrea bogharensis</i> .
		<i>mi</i> Couches marneuses à rognons calcaires avec <i>Ostrea bogharensis</i> et <i>Thersites strombiformis</i> .

Cette coupe montre d'une manière très nette la discordance, après ravinement, de l'étage supérieur sur le suessonien inférieur réduit ici à une trentaine de mètres d'épaisseur. La présence des débris roulés de silex et de calcaires blancs dans les grès et poudingues de la base, rend cette action évidente.

La couche de phosphate se trouve immédiatement en dessous des silex, comme au Djebel-Moul-Adam; elle est grisâtre et rappelle absolument les couches phosphatées de Boghari, qui se trouve à 80 kilomètres à l'ouest. La teneur en phosphate, d'après l'analyse de M. Simon, au laboratoire des mines d'Alger, est de 20,4 p. 100, c'est-à-dire plus faible que la moyenne des couches sud de Boghari.

Ces affleurements, très restreints et d'une continuité rendue douteuse par les ablations manifestes du suessonien inférieur, ne laissent aucune importance à ce gisement, du reste éloigné de 15 kilomètres à l'ouest de Sidi-Aïssa.

2° ENVIRONS DE SIDI-AÏSSA.

Au nord-ouest de Sidi-Aïssa se développe sur une grande étendue l'assise des calcaires à silex et calcaires blancs du suessonien inférieur, qui rejoint par le nord, au Kef-Taïcha, la bande septentrionale dont il a été question dans la note sur Boghari. Ces couches, presque uniquement calcaires, présentent la même constitution que celles du Djebel-Chaïba, de la zone du Djebel-Lakdar;

les silex s'y retrouvent à plusieurs niveaux, et dans les couches les plus inférieures, nous n'avons pas reconnu de couches phosphatées. On se trouve là en présence d'un facies légèrement différent, et correspondant à une zone sublittorale, déjà trop éloignée du rivage pour admettre des intercalations de couches glauconieuses et phosphatées sableuses comme celles que l'on retrouve à quelques kilomètres au sud. Le facies est le même que dans la région de Sétif, où cet étage suessonien est également à peu près dépourvu de couches phosphatées.

Ces calcaires sont accidentés de nombreuses failles; les couches supérieures renferment l'*Ostrea bogharensis* ou une variété voisine.

Une grande faille sépare cette zone du Djebel-Naga, et sur une direction sensiblement est-ouest, il semble que cet étage inférieur soit en superposition aux puissantes assises de grès et marnes du suessonien supérieur.

Le Djebel-Naga est constitué par un bombement anticlinal largement étalé des grès de l'étage supérieur, dont le pendage sud est démantelé à l'est, en sorte que la coupe du côté de Sidi-Aïssa présente la disposition donnée par la *fig. 2*, Pl. IX.

Ces grès supérieurs, de même facies que ceux du Djebel-Afoul, sont pauvres en fossiles; M. Pierredon y a recueilli, près de la fontaine Trumelet, divers fossiles, principalement des *Pecten* à côtes strigillées, d'espèces spéciales et caractéristiques.

C'est seulement, au sud de Sidi-Aïssa, à 3 kilomètres environ, en suivant la route de Bou-Saâda, que nous avons rencontré le suessonien inférieur avec couches phosphatées et bancs de Nummulites. Sur le flanc de ces mamelons ravinés, dans lesquels les couches présentent plusieurs plissements et dislocations faciles à relever, nous avons étudié avec détail un certain nombre de coupes, dont la plus importante est donnée dans la *fig. 3*, Pl. IX.

Fig. 3, Pl. IX. — Coupe relevée dans les collines, au sud de Sidi-Aïssa.

a	Argiles grises.	
b	Argiles et lits glauconieux	7 ^m à 8 ^m
Ph ¹	Grès phosphaté dur, à dents de squales	1 ^m
Ph ²	Couche phosphatée grise	2 ^m
c	Marnes et calcaires.	
B	Lit de silex	3 ^m à 4 ^m
c ₁	Marnes à calcaire marneux	10 ^m
Ph ³	Traces de marnes phosphatées.	
B ₁	2 ^e lit de silex	1 ^m à 2 ^m
1	Calcaires jaunâtres rognonneux	20 ^m
2	Calcaires gréseux à Nummulites et dents de squales.	
3	Calcaires blancs à bivalves et échinides.	
4	Calcaires pétris de Nummulites.	

Les couches phosphatées présentent le même aspect grisâtre que dans la région de Boghari, elles sont cependant plus dures, plus calcaires, à cassure sèche, esquilleuse, et se montrent moins riches en phosphates; leur teneur, d'après les analyses de M. Simon, varie entre 11,7 et 15,5 p. 100 de phosphate.

L'épaisseur des calcaires superposés aux silex dépasse 50 mètres. Les calcaires supérieurs sont pétris de Nummulites et sont semblables aux calcaires du Dyr de Tébessa, avec *Nummulites irregularis*, *N. planulata*, *N. Pomeh*. Ces Nummulites se dégagent facilement des couches inférieures 2, et peuvent se recueillir en grande quantité, avec une *Ostrea* épaisse, semblable à celle du Dekma (Soukahras). Il y a donc ici une plus grande analogie avec les couches de l'est.

Les couches phosphatées sont dures, et, comme nous l'avons vu ci-dessus, d'une faible teneur; la couche la plus importante est Ph². Nous voyons aussi que ces niveaux à phosphates, de même qu'au Kef-Afoul, et à Moul-Adam, se trouvent au-dessous des bancs à silex, contrairement à ce qui se présente à Boghari.

La zone occupée par ces collines du suessonien inférieur s'étend ici sur une largeur d'environ 1 kilomètre et se développe vers l'est dans le Djebel-Amris, où nous allons la suivre.

3° DJEBEL-AMRIS.

A 12 kilomètres environ, à l'est de Sidi-Aïssa, se dresse le Djebel-Amris, qui se relie à la chaîne de Mazem-el-Kébir (990 mètres). Tout ce massif est constitué par le suessonien, le couronnement étant formé par les grès et marnes de l'étage supérieur.

Le Suessonien inférieur présente une série assez complète dont la succession est la suivante (fig. 4, Pl. IX) :

1° *Marnes et argiles noires* (a). — Ces argiles apparaissent au pied du Mazem-el-Kébir et à la partie sud-ouest du Djebel-Amris, par suite de deux failles qui les ramènent au niveau des calcaires à Nummulites. Ces argiles sont plus ou moins glauconieuses, sans fossiles; leur épaisseur visible ne dépasse pas 12 à 15 mètres.

2° *Calcaires à silex* (b). — Les calcaires à silex avec lits phosphatés ont une épaisseur qui atteint 60 à 80 mètres sur le flanc ouest du Djebel-Amris. Les couches phosphatées se trouvent à la partie inférieure; leur teneur atteint au maximum 25 p. 100 en phosphate.

Sur le flanc est, entre le Djebel-Amris et le Mazem-el-Kébir, ces calcaires tendres passent à des calcaires durs, principalement dans les couches moyennes et supérieures, et les phosphates font défaut dans les couches inférieures, composées uniquement de calcaires marneux à silex.

3° *Calcaires phosphatés* (c). — Par contre, les calcaires durs c sont phosphatés dans toute leur épaisseur (30 à 40 mètres). La teneur en phosphate est faible (10 à 15 p. 100), mais il est intéressant de constater sur une aussi grande épaisseur la présence du phosphate.

Ces calcaires renferment : *Nummulites irregularis* et *N. planulata*.

4° *Calcaires durs coquilliers* (d). — Au-dessus de ces calcaires à Nummulites et à phosphates, reposent d'autres calcaires très durs, cristallins, fossilifères, renfermant avec *Nummulites irregularis*, *Ostrea bogharensis*, *Turritella* sp., nombreux gastropodes, huitres épaisses, etc. Leur épaisseur est d'environ 20 à 30 mètres. A leur base se trouvent quelques intercalations marneuses avec silex rares.

5° *Calcaires à Nummulites* (e). — La partie supérieure passe à des calcaires blancs, en bancs plus épais, semblables à ceux de l'assise supérieure de Tébessa, de Birin, etc., plus ou moins pétris de Nummulites. On peut évaluer à 40 mètres l'épaisseur de ces calcaires.

En somme, on retrouve ici la même succession, avec une épaisseur plus grande, dans chaque assise, que dans la coupe indiquée ci-dessus à Sidi-Aïssa. On peut également reconnaître une grande analogie avec les calcaires du Dyr de Tébessa.

Suessonien supérieur. — Au-dessus de cette zone se trouvent les grès du suessonien supérieur *f*, qui paraissent reposer en concordance sur la série des assises précédentes. Ces grès couronnent le Djebel-Amris, le Mazem-el-Kébir, et une partie du relief entre Sidi-Aïssa et le Djebel-Amris.

Le Djebel-Amris est limité par deux failles indiquées dans la *fig. 4*.

Résumé. — Le suessonien inférieur de cette zone de Sidi-Aïssa, présente, à des degrés différents, une ou plusieurs couches phosphatées, soit au-dessous des silex, soit dans les couches immédiatement supérieures, et par suite confirme la répartition de ces zones phosphatées

au même niveau. Mais ces couches de phosphates sont plus dures, plus sèches, et d'une teneur moyenne beaucoup plus faible que celles de la région de Boghari, et à plus forte raison, elles ne peuvent soutenir la comparaison à ce point de vue, avec les couches à phosphates des régions de l'est. Par suite de leur distribution irrégulière et de leur faible importance, ces couches phosphatées sont inutilisables au point de vue industriel.

Il est intéressant de constater ici la présence constante des couches à Nummulites, comparables à celles de Souk-ahras et de Tébessa, tandis que la région de Boghari en est presque absolument dépourvue.

Nous ne saurions manquer de remercier ici M. le lieutenant Pouget, chef du bureau arabe de Sidi-Aïssa, dont l'aimable obligeance a rendu si faciles nos explorations dans cette région.

LAMBEAU SUESSONIEN DE BIRIN

Par M. J. BLAYAC, Collaborateur à la carte géologique de la France
et à la carte géologique de l'Algérie.

A 60 kilomètres sud-est de Boghar se dresse le Djebel-Birin (1.170), massif qui s'élève de 400 à 500 mètres au-dessus des atterrissements quaternaires des hauts plateaux d'où il émerge comme un îlot.

Il est entièrement constitué par le suessonien et signalé comme tel par M. Pomel, dans la *Description de la carte géologique provisoire de l'Algérie*, d'après quelques fossiles rapportés par M. Pierredon.

Il est situé à 12 kilomètres environ de la longue bande suessonienne de Boghar-Sidi-Aïssa dont il n'est séparé que par les limons et les sables des plateaux. Cette dernière bande, étudiée à nouveau par M. Ficheur entre Boghar et Sidi-Aïssa et par nous plus à l'est, présente généralement une ou plusieurs couches de phosphate de chaux là où affleure la zone des calcaires tendres à silex (*). Il importait à MM. les directeurs du service géologique d'Algérie de savoir si le lambeau suessonien, assez mal connu, de Birin, ne renfermait pas, lui aussi, de couches à phosphate de chaux.

Nous avons pu constater, dans une récente exploration, l'absence de ces dernières, mais les observations que nous avons recueillies nous paraissent assez intéressantes pour être publiées. Nous devons à l'obligeante protection de M. le capitaine Bresse, chef du bureau arabe de Boghar, les facilités qui nous ont permis de

(*) Voir Blayac, *Description géologique des régions à phosphates de chaux*, etc. (9^e livr. 1894 des *Annales des mines*).

mener à bien notre mission dans cette région fort isolée. De toutes parts, le Djebel-Birin, qui a un circuit de 40 à 45 kilomètres, est entouré par des limons ou des sables rouges très siliceux formant quelquefois de petites dunes. Ces dépôts quaternaires ou pliocènes reposent directement sur ceux du suessonien, qui est ici constitué par une masse calcaire distribuée en gros bancs réguliers, parallèles, et dont l'épaisseur peut être évaluée au minimum à 400 ou 500 mètres. Ces gros bancs sont à intervalles irréguliers séparés entre eux par d'autres plus petits un peu plus tendres et qui ont offert moins de résistance à l'érosion. Ils forment un synclinal en fond de bateau, et dont les bords se relèvent avec une inclinaison bien plus accentuée au sud et à l'est qu'au nord et à l'ouest (20° à 30° au nord, 40° à 50° au sud). (La coupe schématique *fig. 5*, Pl. IX, et la carte au 1/400.000^e, Pl. VII, expliquent suffisamment l'allure des couches).

Les calcaires supérieurs du Dyr (Tébessa), du Dekma (Soukahras), etc..., sont semblables à ceux que nous avons ici. Comme ceux-là, ces derniers sont très durs, à cassure vive, blancs et renferment des rognons de silex formant corps avec eux; ils sont cependant plus cristallins. Les bancs moins durs et moins épais, qui séparent par intervalles les gros bancs calcaires, sont très chargés en silex se détachant facilement. Ils présentent aussi les mêmes nummulites qu'à Tébessa. Nous avons rapporté *Nummulites Rollandi*, *N. irregularis*, *N. Pomeli*, *N. planulata*, *v. tenuilamellata*, etc.

A signaler aussi la présence dans l'est de *Thersitea ponderosa* (*); il est impossible d'y retrouver les divisions si nettes que nous avons observées dans les calcaires du

(*) Le type de cette espèce, décrit par M. Pomel, provient de Birin (voir Pomel, *Association pour l'avanc. des sc.*, Congrès de Toulouse, 1887).

Dyr. On peut cependant considérer, dans cette énorme masse de 400 mètres d'épaisseur, deux parties. Dans la partie inférieure, qui équivaut à peu près aux deux tiers du tout, on constate la présence de gros rognons de silex et celle de Nummulites calcaires ou siliceuses par places, mais toujours impossibles à dégager. Ces Foraminifères y sont même assez abondants, et il est rare de trouver un banc n'en renfermant point, c'est de là aussi que M. Pierredon a rapporté *Thersitea ponderosa*. Il faut aussi signaler quelques bancs à gastropodes indéterminables (nombreuses Turritelles, Cérithes, etc.) qu'on aperçoit seulement en coupe et sur des morceaux polis par les eaux.

La partie supérieure ne présente presque plus traces de silex, les Nummulites y sont rares; en outre, pas de bancs à gastropodes.

En un seul point, au bas du Coudiat Birin (point 1170) dans une lentille un peu marneuse située à la partie inférieure, dont nous venons de parler, nous avons trouvé des débris d'*Ostrea Bogharensis* et d'une huître à test très épais, indéterminable, assez semblable à celle du Dekma.

Il semble rationnel de rattacher nos calcaires de Birin à cette zone supérieure du suessonien de Tébessa qui est considérée comme la fin du suessonien inférieur. Nulle part, en Algérie, elle n'a été vue sur une épaisseur aussi considérable. Dans la région de Boghar, M. Ficheur attribue 150 mètres à des calcaires de même âge. A Tébessa, elle ne dépasse pas 110 ou 120 mètres. Ce sont là les chiffres les plus élevés, constatés. Faudrait-il considérer une partie de ces sédiments comme l'équivalent des grès du suessonien supérieur qui recouvrent en discordance la partie inférieure de cet étage entre Boghar et Sidi-Aïssa? La concordance qui règne entre tous les bancs de cette masse calcaire, leur facies constant, la présence de fossiles caractéristiques du suessonien infé-

rieur sont peut-être des raisons suffisantes pour nier cette équivalence.

On ne peut non plus supposer que ces calcaires qui ont tous les caractères de ceux de la zone supérieure de Tébessa représentent la totalité du suessonien inférieur, dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas 200 ou 250 mètres et qui se subdivise en trois parties :

3° Calcaires durs à *Nummulites* et *Thersitea*;

2° Calcaires tendres marneux à lits de silex et à phosphates;

1° Marnes noires à *Ostrea multicosata*.

En effet, à l'est et au sud-est du Djebel-Birin, sur les plateaux d'où il émerge, au travers des limons et des sables rouges, on voit pointer des bancs de silex qui appartiennent certainement à la zone moyenne. Nous avons suivi, sur une longue distance, ces pointements dans l'espoir de trouver un ravinement nous permettant de constater la présence de cette dernière. En un seul point très restreint où le quaternaire est raviné, à mi-chemin entre Bir-Ogha et Coudiat-Daït-el-Lebey, nous avons pu voir des calcaires marneux tendres alternant avec des marnes à gypse et des lits de silex (ces derniers n'étant autres que ceux vus au travers des sables). La direction de ces sédiments est parallèle à celle des calcaires à *Nummulites*. Malgré nos recherches minutieuses, nous n'avons pas trouvé de couches à phosphate de chaux; mais il ne nous a été donné de voir qu'une faible partie de l'épaisseur totale de ces dépôts. Peut-être le phosphate est-il présent et le manteau sableux ou limoneux le cache-t-il? Cependant il est bon d'ajouter que, dans les débris caillouteux que l'on rencontre dans les limons, nous n'avons remarqué que des calcaires et des silex provenant de l'érosion des couches sous-jacentes.

LE
SUESSONIEN A PHOSPHATE DE CHAUX

DU DJEBEL-MAHDID PRÈS M'SILA

(PROV. DE CONSTANTINE)

Par M. J. BLAYAC, Collaborateur à la carte géologique de la France
et à la carte géologique de l'Algérie.

Au sud de Bordj-bou-Arréridj, à mi-chemin de M'Sila, s'élèvent le Djebel-Mahdid et le Djebel-Tarfa qui constituent un des massifs les plus importants dominant la grande plaine du Hodna. Cette chaîne, qui a près de 70 kilomètres de longueur, est dirigée est-ouest. Sa constitution géologique a été étudiée, en 1864, par Brossard dans un long et savant mémoire(*) auquel on peut se reporter, car notre but est ici de ne décrire que le suessonien qui forme sur le versant sud des Djebel-Mahdid et Tarfa une longue et étroite bande depuis le Djebel-Zerga et Boudjmelin à l'ouest jusqu'au Djebel-Kellef à l'est. Cette bande, dont la largeur ne dépasse jamais 8 à 900 mètres, est orientée est-ouest sur une longueur d'environ 60 kilomètres, c'est-à-dire du Zerga jusqu'aux premiers contre-forts du Kellef. Là elle incline presque brusquement vers le sud durant 6 à 8 kilomètres pour reprendre bientôt sa première direction, alors qu'elle va disparaître sous les formations argilo-gypseuses qui la recouvrent

(*) Brossard, Mémoires, *Soc. géol.*, t. VIII, 1864.

dans toute son étendue(*). L'âge de ces dernières n'est pas encore déterminé; mais, d'après les études de M. Ficheur dans des régions voisines, il semblerait qu'il soit oligocène.

Le suessonien des Mahdid appartient tout entier à l'étage inférieur de ce terrain. Son épaisseur, peu variable, est de 80 à 100 mètres. Ses couches, qui reposent en concordance du moins apparente sur le sénonien à l'ouest et le cénomaniens dans l'extrême partie est, plongent vers le sud avec une inclinaison de 25 à 45 degrés. Sur le flanc du Djebel-Kellef, le plongement a lieu vers l'ouest.

La succession de ces couches est toujours la même dans toute leur longueur. Cette succession est d'ailleurs semblable, comme nous allons le voir, à celle que ce terrain présente à Bordj-Redir et au Mzeïta, points situés à 12 ou 15 kilomètres au nord. En outre, les bancs à phosphate de chaux que nous avons trouvés là ont un facies identique à ceux des deux localités précitées : roche noire, piquetée de nodules gris de phosphates avec nombreux débris de dents de squales, dure ou assez dure, souvent très siliceuse et chargée en matières organiques.

Quoique bien isolée du suessonien du Djebel-Mzeïta et de Bordj-Redir par la haute chaîne des Mahdid, notre longue bande devait être reliée à ces derniers lambeaux : M. Levat, qui a traversé naguère cette chaîne du sud au nord vers le méridien de Mzeïta, nous a affirmé avoir trouvé, dans une dépression de la chaîne, des dépôts suessonniens (calcaires à silex). L'absence de ceux-ci a été constatée d'abord par Brossard, puis par MM. Pomel et Ficheur, par nous, dans toute la partie orientale et centrale du massif qui nous occupe.

(*) La disposition régulière de cette bande est donnée sur la Carte géologique provisoire de l'Algérie (1889).

De même, la région du Bou-Thaleb, située plus à l'est, en est entièrement dépourvue (*). On peut donc conclure que la mer suessonienne de Mzeïta était reliée à celle du versant sud du Mahdid par un bras qui s'étendait entre ce dernier et le Bou-Thaleb; ce versant sud formait alors rivage à notre mer, et la présence du phosphate de chaux dans les sédiments qu'elle y a déposés est par conséquent toute naturelle, comme nous l'avons expliqué pour Tébessa et Bordj-bou-Arréridj (Mzeïta) (**).

La succession des couches étant toujours la même dans toute la longueur de la bande, nous nous contenterons de donner une coupe détaillée de cette dernière. Cette coupe est prise non loin d'*El-Hammam* (eaux-chaudes) à quelques pas de la grande route qui va de Bordj-bou-Arréridj à M'Sila. Là d'ailleurs, le suessonien présente son maximum d'épaisseur et les bancs à phosphates de chaux y sont moins masqués par l'éboulis des pentes qu'en bien d'autres points (fig. 6, Pl. IX).

1° *Marnes noires a.* — Cet étage débute par des marnes noirâtres un peu glauconieuses, leur épaisseur est d'environ 5 à 6 mètres; elles reposent sur des marnes vert jaune appartenant au sénonien et qui renferme *Ostrea Villei* en grande abondance. A signaler, dans ces marnes noires, la présence d'*Ostrea strictiplicata* et d'*Ostrea multicosata*.

C'est la première assise du suessonien inférieur.

2° *Calcaire à silex et à bancs de phosphates b.* — Au-dessus reposent 50 à 60 mètres de calcaires tendres à lits de silex où se trouvent interstratifiés des bancs de phosphate de chaux.

(*) E. Ficheur, *Bull. de la Soc. géol. de France* : « Crétacé du Bou-Thaleb », 1892.

(**) Blayac, *Ann. des mines*, 9^e livr. 1894.

Ces calcaires tendres de couleur grise se délitent en plaques. Ils sont peu riches en rognons de silex à leur base. Dans leur partie moyenne, ces rognons commencent à être plus nombreux et constituent de véritables lits; c'est alors qu'apparaissent les bancs de phosphate de chaux. Les deux premiers y sont assez importants (1^m,50 et 1^m,20). Celui de 1^m,20 a donné seul un phosphate à teneur relativement riche : près de 50 p. 100 de phosphate de chaux, d'après une analyse faite sur deux échantillons pris un peu au hasard et à la surface du banc.

D'autres petites couches de phosphate se trouvent au-dessus de celui-ci. Elles ne dépassent pas 30 à 60 centimètres et paraissent assez pauvres.

Le phosphate est toujours tel que nous l'avons décrit plus haut et dans notre note sur Bordj-Redir et Mzeïta. La zone des calcaires à silex devient de plus en plus abondante en silex dans sa partie supérieure et elle se termine par un banc siliceux noir, dont l'épaisseur est de 8 à 10 mètres. Ce dernier forme, dans presque toute la longueur de la bande, une crête déchiquetée, peu accessible, d'aspect noirâtre. Elle est un point de repère excellent pour l'œil qui peut la suivre de très loin.

3° *Calcaire à Nummulites c.* — Ce gros banc est recouvert par l'assise supérieure du suessonien inférieur, représentée ici par des calcaires moins cristallins qu'à Birin, qu'au Mzeïta ou qu'à Tébessa, mais qui renferment les mêmes fossiles, sauf cependant les *Thersitea* que nous n'avons pu y retrouver.

Notons : *Nummulites irregularis*, *Nummul. planulata*; *Ostrea bogharensis*, *Ostrea strictiplicata*, var.; *Turritella secans*, etc., de nombreux Gastropodes.

L'épaisseur de ces calcaires est ici de 30 mètres environ. Quelques bancs un peu marneux sont pétris d'huîtres.

Les Nummulites, au contraire, se trouvent dans des couches d'un calcaire plus dur.

Extension. — Ces diverses assises se poursuivent dans le même ordre et avec la même constitution d'un bout à l'autre de cette si intéressante bande, c'est-à-dire sur près de 70 kilomètres. Nous avons traversé cette dernière en bien des points différents et partout nous avons constaté la série que nous venons de décrire. Les couches à phosphates y sont invariablement présentes, mais leur épaisseur et aussi leur nombre ne sont pas constantes. Cependant les deux bancs de 1^m,50 et de 1^m,20 se poursuivent sans interruption, mais avec une épaisseur tantôt un peu moindre, tantôt un peu plus forte. A l'ouest et particulièrement au Djebel-Zerga et à Boudjmelin, les silex de l'assise *a* sont moins abondants. Les calcaires de cette assise sont aussi un peu plus durs et présentent même des traces de phosphate de chaux dans une grande partie de leur épaisseur. Quelques échantillons de ces calcaires ont donné des teneurs en phosphate variant entre 8 p. 100 et 20 p. 100, on peut rapprocher ce fait de celui des calcaires de la même assise au Djebel-Amris près Sidi-Aïssa, ces derniers ont donné des teneurs équivalentes.

A Boudjmelin, nous avons remarqué, dans cette même assise, la présence de *Nummulites irregularis* et de *Nummulites Rollandi*.

Dans la moitié est du suessonien des Mahdid, les silex sont plus nombreux et en bancs plus compacts. Le gros banc de 8 à 10 mètres que nous signalons dans notre coupe est très réduit dans l'extrême partie ouest; il augmente, au contraire, d'épaisseur, à mesure qu'il gagne l'est. A Bou-Zerga et à Boudjmelin (au-dessus du défilé, Kheneg-el-Boudjmelin), nous avons constaté la présence de grès très durs siliceux, calcaires par places, et renfermant de grandes huîtres indéterminables. Ces grès

reposent sur le suessonien inférieur et sont nettement discordants avec lui. Ils ont assez de ressemblance avec ceux du suessonien supérieur de Boghari. Brossard les considère comme appartenant à l'étage parisien. Une étude approfondie est nécessaire, de même que pour les argiles et grès à gypse qui recouvrent les parties basses du massif de Mahdid et de Tarfa.

Nous adressons nos remerciements bien sincères à M. Pelut, administrateur de la commune mixte de M' Sila pour l'amabilité avec laquelle il a facilité notre tâche dans ces régions de pénible accès.

SUR LA COMPOSITION DES CRISTAUX

OBSERVÉS

DANS LES SCORIES DE DÉPHOSPHORATION

Par M. AD. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Membre de l'Institut.

L'examen des scories produites dans la déphosphoration des fontes par le procédé Thomas-Gilchrist a permis de distinguer, au milieu de ces scories de composition très basique, plusieurs sortes de cristaux formés à des températures élevées.

Les premières observations de ce genre ont été faites, en 1883, en France et en Allemagne, sur des scories d'origine et de composition diverses.

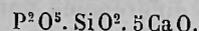
M. Daubrée eut l'obligeance, à la suite d'une visite qu'il fit au printemps de 1883 à l'usine de Jœuf (Meurthe-et-Moselle), de me rapporter des échantillons de scorie Thomas, où l'on distinguait de petits cristaux bleus, très brillants, dans la pâte et surtout dans les géodes de la scorie.

Peu de temps après, sur ma demande, M. Mathieu, directeur de l'usine, voulut bien me faire parvenir d'autres échantillons contenant un plus grand nombre de ces cristaux et il me fut dès lors possible d'en faire l'analyse chimique, tandis que M. Ad. Richard les examinait au point de vue cristallographique (*).

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 30 juillet 1883.

M. Richard les rapporta au système orthorhombique et nota, parmi leurs propriétés, une double réfraction énergétique et un dichroïsme très marqué, le même cristal paraissant incolore et d'un beau bleu de cobalt dans deux positions rectangulaires.

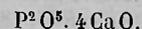
De mon côté, je les définis, au point de vue de la composition chimique, comme un composé formé par une combinaison complexe d'acide phosphorique, de silice et de bases, où la chaux domine de beaucoup, comme on le verra plus loin; je désignai ce composé sous le nom de *silico-phosphate de chaux* avec la formule :



Je signalai en même temps, dans la scorie de Jœuf, d'autres cristaux en grand nombre, noirâtres, en aiguilles fines, souvent assemblés comme les dents d'un peigne ou parfois empilés en colonnes longues de 10 à 15 millimètres; mais la difficulté de les séparer des autres portions de la scorie par le triage à la pince, par l'aimant ou par les liqueurs lourdes, et les variations observées dans leur composition m'empêchèrent de leur attribuer une formule chimique définie.

Dans le courant de la même année 1883, M. Hilgenstock (*) observa dans les scories plus basiques de l'usine de Hörde (Westphalie) des cristaux en forme de tablettes minces, rectangulaires, incolores ou de légère teinte brune, suivant l'épaisseur, qui furent attribuées au système rhombique.

Il leur reconnut la composition d'un *phosphate de chaux tétrabasique*, c'est-à-dire dans lequel quatre molécules de chaux sont unies à une seule molécule d'acide phosphorique :



(*) *Chem. Centr.*, 1883.
Tome VIII, 1895.

Quatre ans plus tard, en 1887, M. Hilgenstock publia aussi l'analyse des aiguilles noires et des cristaux bleus, sans avoir connaissance de celle que j'avais fait connaître antérieurement. Tout en constatant dans ces cristaux la présence de l'acide silicique en quantité importante, il émit l'opinion que ces deux sortes de cristaux ne seraient, en réalité, que des formes différentes du phosphate de chaux tétrabasique en tablettes rectangulaires; ce composé présenterait ainsi un phénomène de trimorphisme.

Une pareille hypothèse ne saurait être acceptée, puisque les cristaux sont différenciés non seulement par la forme, ainsi que par la couleur et les propriétés optiques, mais aussi par la composition chimique.

Il est évidemment impossible de voir une seule et unique espèce minérale dans les tablettes rectangulaires brunes, absolument exemptes de silice, et dans les prismes allongés et aplatis, de couleur bleue et de vif éclat, dont la teneur en silice atteint et dépasse 10 p. 100.

L'hypothèse du polymorphisme paraît difficile à soutenir même pour les aiguilles noires, où la proportion de silice est intermédiaire, bien qu'il soit ici plus difficile d'établir la constance des formes et de la composition chimique.

Les différences essentielles ressortiront avec évidence de l'exposé qui va suivre des observations et des analyses faites sur les différentes sortes de cristaux des scories basiques par M. Hilgenstock (*), par MM. Bücking et Linck (**), par MM. Stead et Ridsdale, de Middlesborough (***), et par moi-même (****).

(*) *Chem. Centr. et Jahresbericht de Fittica*, 1883 et 1887.

(**) *Chem. Centr. et Jahresbericht*, 1887.

(***) *Journ. Chem. Soc.*, 1887. — Groth, *Zeitschr. f. Kryst. Miner.*, 1889.

(****) *Comptes rendus Acad. des sciences*, 1883.

A. Tablettes brunes rectangulaires.

M. Hilgenstock a analysé des cristaux triés avec grand soin dans les scories de l'usine de Hørde; il a trouvé des nombres qui se confondent presque absolument avec les nombres calculés sur la formule $P^2O^5.4CaO$:

	Truvé.	Calculé.
Acide phosphorique.	38,14	38,80
Chaux.	61,40	61,20

Plus tard M. Hilgenstock a pu reproduire artificiellement ce phosphate en chauffant à très haute température un mélange additionné de spath-fluor, composé de phosphates bibasique et tribasique de chaux, d'acide phosphorique anhydre et de chaux vive dans les proportions voulues pour avoir quatre molécules de chaux avec une seule molécule d'acide phosphorique.

L'analyse du produit donna la composition attendue :

Acide phosphorique.	38,51
Chaux.	60,08
Silice.	0,10
	98,69

L'auteur observa que les cristaux avaient non pas la forme de tablettes, mais celle d'aiguilles, c'est-à-dire de prismes hexagonaux; il attribua ce fait à l'insuffisance de la température obtenue. Il y aurait alors véritablement ici un phénomène de dimorphisme, la composition restant la même.

J'ai récemment analysé des tablettes minces, rectangulaires, recueillies dans les scories de déphosphoration extrêmement basiques de l'usine de Kladno (Bohême), où elles atteignent de grandes dimensions.

De leur côté, MM. Stead et Ridsdale ont opéré sur des cristaux des scories de Middlesborough (Angleterre).

Voici ces analyses :

	Ad. Carnot.	Stead et Ridsdale.
Acide phosphorique.	37,67	38,044
Acide silicique.	0,74	traces
Chaux.	59,54	60,206
Magnésie.	traces	0,828
Protoxyde de fer.	1,44	} 0,100
Alumine.	0,37	
Oxyde de vanadium.	"	0,722
Soufre.	"	0,150
	<hr/> 99,76	<hr/> 100,050

Ces résultats sont entièrement d'accord avec la formule du *phosphate de chaux tétrabasique* ($P^2O^5 \cdot 4CaO$), surtout si l'on fait abstraction des éléments secondaires révélés par l'analyse, pour ne considérer que les deux éléments principaux, la chaux et l'acide phosphorique.

B. Aiguilles brunes et noires.

On a réussi, en Allemagne et en Angleterre, à isoler des cristaux de forme hexagonale, en aiguilles brunes ou presque incolores, auxquelles on a trouvé la composition suivante :

	Hilgenstock.	Bücking et Linck.	Stead.
Acide phosphorique.	34,94	36,77	33,707
Acide silicique.	3,24	3,81	3,900
Chaux.	57,55	53,51	53,536
Magnésie.	"	0,40	0,486
Protoxyde de magnésie.	"	"	0,790
Protoxyde de fer.	4,00	2,22	1,286
Sesquioxyde de fer.	"	1,78	4,857
Alumine.	"	1,09	"
Oxyde de vanadium.	"	"	1,343
Soufre.	"	traces	0,460
	<hr/> 99,73	<hr/> 99,58	<hr/> 100,365

Les résultats diffèrent entre eux sensiblement; mais cela s'explique aisément par la dissemblance des scories d'origines diverses, au milieu desquelles se sont formés les cristaux, et par la proportion variable des impuretés qu'ils ont retenues en dépit du soin apporté à leur triage; lorsqu'on les observe au microscope, on aperçoit dans les aiguilles des particules de scories ou d'oxydes adhérentes ou interposées.

On peut bien remarquer que la composition de ces matières se rapproche de celle des phosphates tétracalciques; mais il n'est pas possible de négliger la silice et les différents oxydes métalliques et, si l'on en tient compte, il paraît difficile de grouper les résultats en une formule unique présentant quelque vraisemblance.

MM. Stead et Ridsdale ont d'ailleurs distingué deux autres variétés de cristaux, trouvés par eux avec les espèces cristallines précédentes, au centre d'un gros bloc de scorie basique. Ce sont des aiguilles noires, plates, dont les unes sont magnétiques, tandis que les autres ne le sont pas. Ils en ont donné les analyses suivantes :

	Magnétiques.	Non magnétiques.
Chaux.	39,088	44,730
Magnésie.	1,297	0,936
Alumine.	6,400	9,700
Peroxyde de fer.	33,857	35,657
Protoxyde de fer.	8,100	"
Protoxyde de manganèse.	1,348	1,023
Oxyde de chrome.	5,980	4,200
Oxyde de vanadium.	2,656	2,223
Acide silicique.	1,100	0,900
Acide phosphorique.	traces	0,740
	<hr/> 99,826	<hr/> 100,109

Ils les considèrent, en conséquence, comme principalement formés de ferrite et d'aluminate de chaux.

C. *Cristaux bleus brillants.*

Tandis que les cristaux en tablettes brunes ou incolores se trouvent en abondance dans les scories très chargées de chaux, très riches en acide phosphorique et très pauvres en silice, comme celles de Kladno, de Peine et de Hørde, et s'observent alors seuls ou parfois accompagnés d'aiguilles brunes ou noires, les cristaux bleus, brillants, dichroïques, dont j'ai parlé plus haut se rencontrent, au contraire, en grand nombre dans les scories plus siliceuses et à teneur moindre en acide phosphorique de certaines autres usines, notamment celles de Lorraine.

J'ai déjà dit que j'avais trouvé beaucoup de ces cristaux disséminés dans la masse et surtout dans les géodes des scories de l'usine de Jœuf qui en étaient intimement pénétrées. Elles existent de même en quantité dans les scories actuellement produites dans les convertisseurs Thomas à Hayange, d'après les renseignements que MM. Henri de Wendel et Jacométy ont eu l'obligeance de me donner en 1895.

En présentant leur analyse, en 1883, j'ai fait observer que ces cristaux entraient pour une part notable dans les scories de Jœuf, mais qu'elles différaient de la masse environnante, non seulement par une constance de composition, qui ne se retrouvait pas sur les différentes portions de la scorie, mais par une teneur plus grande en acide phosphorique, par une teneur beaucoup moindre en oxydes de fer et de manganèse, enfin par l'absence presque complète du soufre, qui existe, au contraire, en quantité notable dans la masse de la scorie à l'état de sulfure et à celui de sulfate.

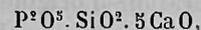
La composition trouvée pour les cristaux bleus était celle-ci :

Acide phosphorique	29,65
Acide silicique	12,42
Chaux	53,20
Magnésie	traces
Protoxyde de fer	1,80
Protoxyde de manganèse	traces
Alumine	2,76
	99,83

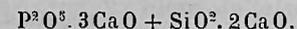
Ces nombres correspondent exactement à la formule :



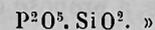
En remplaçant les petites quantités d'oxyde de fer et d'alumine par des quantités équivalentes de chaux, on arrive à la formule beaucoup plus simple :



que l'on peut aussi écrire :



J'ajoutais alors (*) : « La substance que nous venons de décrire est donc un composé parfaitement défini et cristallisé d'acide silicique, d'acide phosphorique et de chaux, à laquelle peuvent se substituer de petites proportions d'oxyde de fer et d'alumine. C'est le premier exemple que l'on puisse citer d'un pareil composé cristallisé »... « Les deux acides phosphorique et silicique y jouent un rôle également important; ils s'y trouvent précisément dans la proportion même de leurs équivalents, aussi bien que dans le remarquable composé cristallisé, récemment obtenu par MM. Hautefeuille et Margottet, appelé par eux *phosphate de silice* et répondant à la formule :



(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 30 juillet 1883.

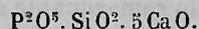
J'émettais donc l'idée que les acides phosphorique et silicique pouvaient former un composé complexe, mais défini, plus ou moins analogue aux acides boro- ou silico-tungstique, phospho- ou silico-molybdique, etc. Toutefois, il me paraissait que, si l'on ne voulait pas, sans autre preuve, entrer dans la voie d'une semblable hypothèse, il convenait d'écrire la formule de constitution des cristaux bleus comme un groupement du *phosphate neutre* (ou tribasique) de chaux avec le *silicate neutre* (ou bibasique) de la même base :



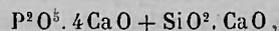
Les analyses publiées, en 1887, en Allemagne et en Angleterre, sur des cristaux bleus prélevés au milieu de scories de déphosphoration d'origines diverses, se sont trouvées d'accord avec les miennes. En voici deux exemples empruntés aux mêmes auteurs :

	Hilgenstock.	Bücking et Link.
Acide phosphorique.	30,85	31,19
Acide silicique.	9,42	9,47
Chaux	57,60	57,42
Magnésie.	»	traces
Protoxyde de fer.	2,94	0,95
Alumine	»	1,13
Soufre	»	traces
	400,81	400,16

Ces analyses conduisent, comme les précédentes, à la composition :



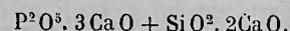
M. Hilgenstock, se fondant sur la découverte du phosphate à quatre molécules de chaux dans les cristaux en tablettes rectangulaires, a proposé de scinder la formule en deux et d'écrire :



c'est-à-dire de voir dans le silico-phosphate un assemblage de *phosphate tétrabasique* et de *silicate monobasique*.

A vrai dire, ce groupement d'un phosphate exceptionnellement *basique* avec un silicate *acide* (car c'est ainsi qu'on le désigne en termes de métallurgie), me paraît être une supposition peu vraisemblable.

La raison est mieux satisfaite par l'hypothèse du groupement d'un phosphate et d'un silicate neutres l'un et l'autre, comme je l'ai indiqué plus haut :



Mais il ne faut pas perdre de vue qu'en réalité il y a groupement et, par suite, propriétés spéciales, distinctes de celles des deux composants; nous croyons donc qu'il faut conserver l'expression de *silico-phosphate de chaux* pour exprimer le véritable état de combinaison des trois éléments dans les cristaux bleus de la scorie Thomas.

M. Hilgenstock a fait d'intéressantes observations sur l'ordre de formation des cristaux en se fondant sur leur état de groupement dans les blocs de scories. Les premiers cristaux qui s'isolent paraissent être les tables rectangulaires, sur lesquelles viennent ensuite s'implanter les aiguilles brunes hexagonales. Ce n'est que plus tard, quand la masse restante de la scorie est devenue plus riche en silice, que s'isolent les cristaux bleus et brillants. Ceux-ci se superposent aux aiguilles brunes et noires.

Je ne puis qu'appuyer ces conclusions, qui sont d'accord avec les remarques que j'avais faites, en 1883, sur les deux dernières espèces de cristaux.

L'ordre d'apparition des espèces minérales semble donc réglé à la fois et par la température peu à peu

décroissante et par la composition du bain de scories, qui devient plus riche en silice et moins riche en acide phosphorique.

Il me reste un mot à dire d'une question qui se pose naturellement à l'esprit, lorsqu'on parle des scories de déphosphoration, à cause de leur emploi en agriculture : quelle est l'influence de la composition chimique des scories sur leur faculté de dissolution et d'assimilation par les végétaux ?

L'*assimilabilité* des phosphates s'apprécie d'habitude, assez arbitrairement d'ailleurs, d'après la proportion de leur acide phosphorique soluble, soit dans le citrate d'ammoniaque légèrement acidifié par de l'acide citrique, soit dans l'eau distillée contenant 1/100 d'acide citrique cristallisé. Sans examiner ici la valeur de ces méthodes d'appréciation, je dirai que l'essai comparatif des cristaux de phosphate de chaux tétrabasique et des cristaux de silico-phosphate de chaux a donné des résultats analogues dans les deux cas ; pour un même poids de matière, la quantité d'acide phosphorique dissoute a varié proportionnellement aux quantités contenues dans l'une et dans l'autre espèce minérale.

Ce résultat mérite d'être rapproché des expériences faites sur la masse même des scories par le Dr Otto, par le professeur Wagner et, récemment, par M. Levat (*), expériences qui paraissent établir que, si les scories très basiques, avec phosphate en tablettes, sont très facilement assimilables, il en est de même des scories moins basiques à silico-phosphate de chaux.

(*) *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1895, p. 198.

SUR UN GISEMENT

DE

PHOSPHATES D'ALUMINE ET DE POTASSE

TROUVÉ EN ALGÉRIE

ET SUR LA GENÈSE DE CES MINÉRAUX

Par M. AD. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Membre de l'Institut.

Les recherches faites en Algérie, dans le département d'Oran, ont amené la découverte d'un certain nombre de gisements de phosphates. La plupart sont des phosphates de chaux concrétionnés, souvent un peu alumineux, remplissant des fissures ou des grottes dans le terrain tertiaire supérieur et dont l'origine quaternaire est attestée par les fossiles qui y ont été rencontrés. Mais on a également reconnu dans quelques gîtes oranais la présence de phosphates alumineux, qu'il n'est pas sans intérêt de comparer à ceux qui ont été découverts par MM. Armand et Gaston Gautier, dans la grotte de Minerve (Hérault).

M. Armand Gautier a publié, l'année dernière, dans les *Annales des mines* (*), une description détaillée de la

(*) *Annales des mines*, janvier 1894.

grotte et des divers minéraux phosphatés qu'on y a trouvés. Il a donné le nom de *Minervite* à un phosphate d'alumine hydraté, avec léger excès d'alumine, dont la composition serait voisine de $P^2O^5 \cdot Al^2O^3 \cdot 7H^2O$.

L'étude de ce gisement l'a conduit à énoncer une théorie, nouvelle sur certains points, de la genèse des phosphates minéraux et, en particulier, des phosphates d'alumine et de fer. Cette théorie est fondée sur la transformation du phosphore organique, contenu dans les matières azotées, qui, sous l'influence de ferments oxydants, donnerait naissance à des phosphates ammoniacaux. Ceux-ci étant dissous et arrivant au contact de calcaire ou d'hydrate d'alumine, voire même d'argile ordinaire, se convertiraient en phosphates tricalcique et bicalcique ou en phosphates d'alumine, tandis que le carbonate d'ammoniaque naissant serait oxydé, grâce aux ferments nitriques, et transformé, au contact du calcaire, en nitrate de chaux, facilement entraîné par les eaux souterraines.

Les faits observés dans le gisement oranais, dont je vais parler, ont une assez grande analogie avec ceux observés par M. Gautier et paraissent de nature à apporter une confirmation à sa théorie.

M. Paul Pallary, professeur à Eckmühl-Oran, qui avait déjà reconnu plusieurs gisements de phosphorite dans la région voisine, ayant appris que M. Fabriès, d'Oran, exploitait des phosphates blancs, terreux, différents des phosphates ordinaires, visita le gîte à plusieurs reprises et voulut bien me donner des renseignements précis et m'envoyer les échantillons que j'ai soumis à l'analyse.

Le gîte de phosphate se trouve dans le territoire de la commune de Misserghin, à 10^{km},4 d'Oran, près de la Tour-Combes, sur le côté gauche de la route nationale d'Oran à Tlemcen. C'est une caverne à stalactites, dans laquelle on pénètre par une ouverture à fleur de terre, signalée par un figuier. Les parois de la caverne sont

formées par un calcaire compact, faiblement cristallin, sans fossiles, que l'on rapporte à l'étage supérieur du miocène, nommé le Sahélien. Le fond de la caverne est formé par une stalagmite calcaire; il est recouvert par une couche, épaisse de 1 à 3 mètres, de terre d'un brun rougeâtre, où l'on aperçoit des veines et des masses spongieuses blanchâtres ou bariolées de jaune, de rouge ou de noir, qui sont l'objet de l'exploitation pour phosphates.

L'étendue de la caverne, telle qu'elle est connue aujourd'hui, n'est pas considérable; mais on ignore si, par quelque ramification, elle ne communique pas avec d'autres cavernes analogues.

MM. Pallary et Fabriès l'ont explorée avec soin, sans y trouver aucun ossement de vertébré, mais seulement un silex taillé et quelques *Helix* d'ancienneté douteuse, qui pourraient avoir été entraînés par les pluies avec la terre rougeâtre à une époque plus récente que les temps quaternaires (*).

L'examen des échantillons de teintes diverses, envoyés par M. Pallary, m'a appris que la matière blanche est principalement formée de phosphate alumineux avec de la silice en proportion variable et parfois un peu de phosphate de chaux; teintée en brun, elle renferme de l'oxyde de fer; d'autres fois, elle est colorée en noir par de l'oxyde de manganèse et un peu d'oxyde noir de cobalt.

Les masses agglomérées sont rarement plus grosses que le poing; elles sont arrondies, légères, onctueuses au toucher, faciles à écraser entre les doigts, surtout quand elles sont encore humides; elles happent fortement à la langue lorsqu'elles sont sèches. La matière pure et blanche est comme farineuse; le microscope n'y révèle aucune cristallation.

(*) M. Paul Pallary, *Association française pour l'avancement des sciences*, Caen, 1894, p. 437.

Calcinée, elle montre une teinte grisâtre indiquant la présence d'un peu de *matière organique*; puis elle redevient blanche. Imprégnée d'azotate de cobalt et calcinée de nouveau, elle prend la belle teinte bleue caractéristique de l'*alumine*.

Elle se dissout facilement, en majeure partie, dans les acides et dans le citrate d'ammoniaque.

Elle se dissout également dans la potasse caustique, en formant une dissolution de couleur orange et laissant à chaud un résidu rougeâtre. Il se dégage, en même temps, de l'*ammoniaque* sensible à l'odorat, au papier rouge de tournesol et aux vapeurs chlorhydriques.

Par digestion dans l'eau pure, à froid et surtout à chaud, la poudre blanche laisse dissoudre une quantité notable d'*acide phosphorique*, qu'on met facilement en évidence au moyen du nitromolybdate d'ammoniaque.

Enfin, on reconnaît aisément la présence de la *potasse* en traitant la matière par l'acide chlorhydrique, évaporant et reprenant par 5 centimètres cubes d'eau; dans la solution chlorurée, on verse un égal volume d'une solution alcoolique de chlorure de bismuth et autant d'une solution aqueuse d'hyposulfite de chaux, puis on mélange dans une petite fiole avec une centaine de centimètres cubes d'alcool à 95/100 et on secoue vivement. On peut également, par ce moyen, faire directement le dosage volumétrique de la potasse (*).

L'analyse d'un échantillon trié, bien blanc, a donné les résultats suivants :

Acide phosphorique	35,17
Alumine	18,18
Potasse	5,80
Ammoniaque	0,48
A reporter	59,63

(*) Ad. Carnot, *Comptes rendus*, 1876-1878.

Report	59,63
Chaux	0,31
Eau avec un peu de matière or-	Perte à 100°. 13,40 — de 100 à 180°. 10,55 — de 180° au rouge (*). 4,35
ganique	
Silice	
Magnésie, fluor, chlore, acide sulfurique	traces
	99,84

Si l'on prend le rapport des nombres obtenus aux poids moléculaires correspondants, on trouve, pour 1,00 d'acide phosphorique : 0,71 d'alumine; 0,31 de potasse et chaux; enfin 5 à 5,50 d'eau environ.

D'autres échantillons ont présenté à l'analyse tantôt un peu d'oxyde de fer, tantôt du phosphate de chaux en quantité irrégulière, parfois une plus grande quantité d'ammoniaque (0,91 p. 100), quelquefois enfin de la silice en proportion dominante (jusqu'à 84 p. 100).

Dans de telles conditions et en l'absence de toute cristallisation de cette matière blanche et friable, je crois devoir m'abstenir de proposer une formule générale pour exprimer sa composition moyenne. Je me bornerai à faire observer qu'elle ne rentre pas dans la formule de la *minervite* de M. Gautier; car la teneur en alumine y est beaucoup moindre, l'acide phosphorique s'y trouve en quantité plus grande; enfin la potasse, qui n'a pas été signalée dans la *minervite* et dont la présence était ici fort inattendue, semble former avec l'acide phosphorique et l'alumine un composé de nature spéciale. Si l'on attribue au phosphate d'alumine la composition d'un phosphate neutre ($P^2O^5 \cdot Al^2O^3$), comme il paraît naturel de le faire, les proportions restantes d'acide phosphorique et de protoxydes sont intermédiaires entre celles qui

(*) La perte au rouge comprend de l'eau, un peu de matière organique et l'ammoniaque, qui a été dosée à part.

conviendraient à un phosphate monométallique et à un phosphate bi-métallique.

Or l'expérience suivante confirme cette observation : si l'on fait chauffer la matière phosphatée dans l'eau, on peut bientôt constater que celle-ci a dissous un phosphate qui ne colore ni la solution jaune de méthylorange en rouge, comme les phosphates alcalins monométalliques, ni la phénolphtaléine en violet, comme les phosphates bi-métalliques. Les deux réactifs colorants y subsistent sans aucun changement de couleur, de même qu'ils subsistent dans les mélanges de phosphates mono- et bi-métalliques.

La genèse des minéraux trouvés dans la grotte de la Tour-Combes paraît s'expliquer entièrement par des apports ou des infiltrations du dehors. La circulation des eaux dans la grotte a laissé sa trace dans les formes arrondies des parois et dans les stalactites du toit ; le fond stalagmitique est recouvert de terres rougeâtres assez analogues d'aspect à celles qui couvrent le sol près de l'orifice de la caverne.

Le calcaire des parois ne renferme pas de phosphate ; les terres de l'extérieur ont donné à l'essai 0,16 à 0,17 p. 100 d'acide phosphorique ; les terres de l'intérieur 2,70 p. 100 du même acide. Il semble donc bien y avoir eu, dans ces dernières, une concentration des substances phosphatées, sous l'influence des eaux venues du dehors.

Une ségrégation plus avancée doit avoir donné naissance aux veines et aux nodules de phosphates alumineux disséminés au milieu des terres rouges. C'est aussi de l'extérieur que doivent avoir été apportés les oxydes de manganèse et de cobalt, qui recouvrent quelques-unes des petites masses phosphatées.

On ne retrouve pas dans la caverne de la Tour-Combes, comme dans beaucoup d'autres et dans celle de Minerve en particulier, de nombreux débris d'ossements de ver-

tébrés, auxquels on puisse attribuer l'origine des phosphates ; mais il a pu exister, à la surface du sol, des amas de matières organiques, animales ou végétales, sortes de guanos, dont le phosphore et l'azote, convertis par oxydation en phosphate d'ammoniaque, ont pu être entraînés par les eaux vers la dépression de la grotte ou vers les fissures qui la mettaient en communication avec la surface. L'azote a dû être, en majeure partie, converti par l'air et les ferments, en nitrates solubles qui ont disparu ; mais il est cependant resté aussi un peu de matière organique et peut-être une certaine quantité d'ammoniaque fixée à l'état de phosphate, comme je l'ai dit plus haut.

C'est aussi aux infiltrations du dehors qu'il faut attribuer les autres éléments reconnus dans les phosphates, notamment la potasse, la silice et l'alumine. Il n'y a aucune difficulté à expliquer la pénétration de la potasse sous forme de sels solubles et sa fixation sous forme de phosphate complexe. Pour la silice, on sait déjà, par de nombreux exemples, que, malgré son peu de solubilité, elle est souvent transportée d'un lieu à un autre par des phénomènes successifs de dissolution et de dépôt chimique.

On est en droit de supposer qu'il en est de même de l'alumine, soit en vertu d'un certain degré de solubilité de cette substance elle-même dans les eaux naturelles, soit par suite d'une transformation en sels solubles, sous l'influence des nitrates, par exemple, et de l'acide carbonique.

Quelle qu'en soit l'explication, le fait en lui-même de la dissolution de l'alumine n'est pas douteux ; nous en avons des preuves certaines, d'une part dans l'existence d'une petite quantité d'alumine dans les cendres de végétaux où elle n'a pu pénétrer que dissoute, d'autre part dans la fixation par métamorphisme d'une proportion parfois très importante d'alumine dans la substance des

ossements fossiles. On me permettra de rappeler que j'ai trouvé jusqu'à 22 p. 100 d'alumine ou 53 p. 100 de phosphate neutre d'alumine dans les dents et l'ivoire convertis par fossilisation en turquoises occidentales ou odontolites (*).

En résumé, tous les faits observés dans l'étude de la grotte de la Tour-Combes et des produits qui en ont été extraits, peuvent s'expliquer par des infiltrations d'eaux, qui se seraient faites vers cette grotte et qui y auraient amené les produits de la décomposition des matières organiques et de la dissolution des matières minérales de la surface.

OBSERVATION AU SUJET DE LA MINERVITE.

Depuis que la note précédente a été présentée à l'Académie des sciences (juillet 1895), j'ai cru devoir faire une analyse complète de la *minervite* de l'Hérault, recueillie par M. Armand Gautier (**), dont de beaux échantillons, d'une blancheur et d'une homogénéité remarquables, ont été donnés par ce savant au musée de l'École des mines.

La ressemblance physique de ce minéral et de celui de la Tour-Combes me portait à croire qu'il devait exister dans leur composition une assez grande analogie. L'analyse a confirmé cette hypothèse. Les résultats trouvés diffèrent de ceux donnés par M. Gautier par l'absence de fluor, par une proportion beaucoup moindre d'alumine et par la présence caractéristique d'une importante quantité de potasse, que mon éminent confrère n'avait, sans doute, pas soupçonnée dans un pareil minéral, mais qu'il

(*) *Comptes rendus*, 30 avril 1894.

(**) *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1894, p. 24.

est facile de mettre en évidence. On y réussit très bien par voie humide, en formant le précipité jaune, insoluble dans l'alcool (v. *supra*, p. 314), ou par voie sèche en observant au spectroscope une solution chlorhydrique du minéral.

Voici les résultats fournis par l'analyse :

Acide phosphorique	37,28
Alumine	18,59
Peroxyde de fer	0,83
Potasse	8,28
Chaux	1,40
Magnésie	0,33
Ammoniaque	0,52
Eau perdue jusqu'à 180°	23,70
Perte de poids de 180° au rouge (*)	4,50
Sable, argile	4,35
Fluor, chlore, acide sulfurique	traces
	<hr/>
	99,78

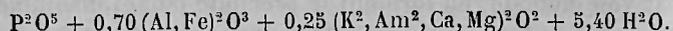
Cette composition diffère très peu de celle que j'avais précédemment trouvée pour le phosphate alumino-potassique de la Tour-Combes, abstraction faite des matières étrangères simplement mélangées (silice, sable ou argile); ce phosphate doit donc être assimilé à la *minervite*.

En définitive, il résulte des analyses faites sur ces minéraux, que la *minervite* n'est pas un simple phosphate d'alumine hydraté, mais un *phosphate hydraté d'alumine et de potasse*, dans lequel il peut même y avoir substitution partielle de peroxyde de fer à l'alumine, et d'ammoniaque, de chaux et de magnésie à la potasse.

En prenant le rapport des nombres donnés par l'analyse aux poids moléculaires des mêmes éléments et en groupant ensemble d'une part les sesquioxydes, de

(*) La perte de poids au rouge comprend à la fois de l'eau, de l'ammoniaque et de la matière organique.

l'autre les protoxydes, on est conduit à la formule :



La composition est donc à très peu près celle d'un mélange de phosphate neutre d'alumine et d'un phosphate bibasique de protoxydes. Il y a cependant un léger excès d'acide phosphorique (1/20 de la quantité totale), qui tend à rapprocher ce dernier composé des phosphates monobasiques plutôt que des phosphates tribasiques.

L'existence d'un phosphate bibasique de potasse, ammoniacque, chaux et magnésie, qui pourrait, au premier abord, paraître surprenante, s'accorde fort bien avec les observations que j'avais déjà faites sur les réactions colorées du phosphate de la Tour-Combes; elle se trouve également d'accord avec le fait, signalé par M. Armand Gautier, de l'existence de phosphate bibasique de chaux (*brushite*), comme produit de la transformation des phosphates ammoniacaux, parmi les minéraux de la grotte de Minerve.

SUR LA

COMPOSITION DE QUELQUES PHOSPHATES D'ALUMINE

(WAVELLITES, TURQUOISES, ONDONTOLITES)

Par M. Ab. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Membre de l'Institut.

La découverte récente de quelques gisements de phosphates alumineux, susceptibles d'emploi en agriculture, a rappelé l'attention sur les minéraux appartenant à la catégorie des *phosphates hydratés d'alumine*.

On a distingué plus de dix espèces minérales de ces phosphates, différant les unes des autres par les proportions d'acide phosphorique, d'alumine et d'eau en combinaison; mais ces espèces sont presque toutes assez mal définies au point de vue cristallographique et, d'ailleurs, fort rares et peu connues.

Deux groupes seulement font exception, celui des *wavellites* et celui des *turquoises*; le premier parce que les cristaux aciculaires de wavellite, groupés en forme de disques ou d'hémisphères à structure radiée, attirent le regard et se rencontrent d'ailleurs assez fréquemment dans les fentes des roches anciennes ou des filons métallifères; le second, parce que la belle couleur bleue ou vert clair de la turquoise et la facilité avec laquelle elle se prête à la taille en ont fait une des pierres les plus répandues dans la joaillerie.

Différentes variétés de ces deux phosphates ont été

déjà analysées, mais à une époque où l'on ne possédait pas de méthode sûre pour le dosage du fluor dans les minéraux hydratés et complexes et où la présence même du fluor demeurerait parfois incertaine.

Pour la wavellite notamment, les analyses qui ont été publiées étaient en complet désaccord au point de vue de la teneur en fluor et même de la présence de cet élément.

Sur dix analyses citées dans le *Système de minéralogie* de Dana, deux seulement, de Berzélius et d'Hermann, signalent 2,06 et 1,69 p. 100 de fluor; les huit autres portent *traces* ou *absence* de fluor.

Dans les turquoises on n'avait pas signalé de fluor, et cela avec raison, comme on le verra plus loin; mais on n'en avait pas non plus trouvé dans les turquoises de nouvelle roche, où il existe cependant.

C'est dans le but d'établir avec sûreté la composition de ces minéraux que j'ai entrepris le présent travail.

Le dosage du fluor a été fait à l'état de fluosilicate de potasse suivant la méthode que j'ai décrite avec détail dans les *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1893.

WAVELLITES.

Les analyses ont porté sur quatre échantillons de la collection de l'École des mines, qui présentaient l'aspect le plus différent.

I. Wavellite de Cork (Irlande), en mamelons grisâtres avec fibres rayonnées d'un gris sombre.

II. Wavellite de Clonmel (Irlande), fibres radiées d'un vert jaunâtre, surfaces mamelonnées d'un vert sombre et d'aspect velouté.

III. Wavellite de Chester (États-Unis), formant de petites stalactites allongées, blanches, avec tube central fin rempli de matière ocreuse.

IV. Wavellite de Garlond (Arkansas), en petites boules grisâtres fixées sur un grès argileux de même couleur; la cassure montre des fibres rayonnées verdâtres.

L'analyse a donné pour ces quatre variétés :

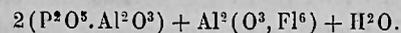
	I	II	III	IV
Fluor	1,90	2,79	2,09	1,81
Acide phosphorique	32,38	33,40	33,55	32,07
Alumine	37,03	37,44	36,83	34,82
Oxyde ferrique	0,40	(FeO) 0,64	0,36	1,40
Chaux, magnésie	traces	traces	traces	traces
Eau	27,72	26,45	27,53	26,16
Argile et quartz	0,43	»	0,16	3,75
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	99,86	100,72	100,52	100,01

Le fluor entre donc pour une proportion d'environ 2 p. 100 et parfois davantage dans tous les échantillons examinés, malgré leur différence d'origine et d'aspect. Le fer est à l'état de peroxyde, sauf dans l'échantillon II, qui est coloré en vert sombre par du protoxyde.

En tenant compte de la substitution isomorphique du peroxyde de fer à l'alumine et prenant la moyenne des quatre analyses, on trouve :

Fluor	2,17	ou	P ² O ⁵ .Al ² O ³	56,52
Acide phosphorique	33,20		Al ² Fl ⁶	3,22
Alumine	37,38		Al ² O ³	12,10
Eau	27,25		H ² O	27,25
	<hr/>			
	100,00			

Cette composition peut être exprimée par la formule :



Le fluor semble remplacer une portion de l'oxygène de l'alumine; cette portion, qui est de 1/6 en moyenne, peut aussi s'approcher des limites extrêmes 1/4 et 1/8.

Le fluor existe donc toujours dans les wavellites et pourrait bien être la cause de leur état cristallin, qui ne

se retrouve pas au même degré dans les phosphates hydratés d'alumine exempts de fluor.

TURQUOISES ORIENTALES.

Les turquoises ne sont jamais cristallisées; elles ont une texture compacte ou à peine microcristalline; on n'y a jamais signalé de fluor et, sur ce point, mes analyses confirment les analyses antérieures.

L'un des échantillons que j'ai examinés est une turquoise d'un bleu vert (V) venant des monts Nichapour, en Perse, où elle se trouve en veines minces et nombreuses dans une brèche trachytique et dans des alluvions de même origine.

Le second (VI) a pour origine le district de Colombus (Nevada, États-Unis).

Le dernier (VII) vient d'un gîte exploité depuis peu par l'*Azur Mining Company* dans les Burrow Mountains, Grant County (Nouveau-Mexique); on voit le minéral engagé dans une roche feldspathique et quartzeuse, sorte de pegmatite d'un grain rosé. Sa teinte est d'un joli bleu au jour et d'un beau bleu verdâtre à la lumière artificielle. Ces échantillons ont été remis à la collection de l'École des mines.

L'analyse a donné les résultats consignés ci-après :

	V	VI	VII
Acide phosphorique.	29,43	30,38	28,29
Alumine.	42,17	44,82	34,32
Oxyde cuivrique.	5,10	7,40	7,41
Oxyde ferreux.	4,50	5,32	0,91
Oxyde manganoux.	»	0,22	»
Magnésie.	»	»	traces
Chaux.	»	traces	7,93
Fluor.	»	»	traces
Eau.	18,59	11,86	18,24
Quartz ou argile.	0,21	»	2,73
	<hr/> 400,00	<hr/> 100,00	<hr/> 99,83

Ces analyses confirment les recherches antérieures au point de vue de l'absence complète de fluor dans la turquoise orientale. Le seul échantillon où il en ait été trouvé des traces, celui des Burrow Mountains, renferme une quantité importante de chaux et peut être supposé contenir quelques traces d'apatite.

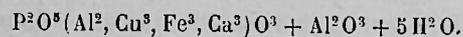
Dans les autres échantillons, il n'y a pas de chaux, mais seulement des oxydes de cuivre et de fer. Je me suis assuré que le fer est à l'état de sel ferreux; quant au cuivre, il paraît être un élément constant des turquoises proprement dites ou orientales, qu'il peut servir à distinguer aisément des turquoises occidentales communes ou odontolites.

Il ressort des analyses précédentes ainsi que de celles qui ont été publiées par John Hermann, Church, Moore et Clarke (*Manuel de minéralogie* de Des Cloizeaux, *System of mineralogy* de Dana), que les turquoises orientales de provenances diverses, bien qu'elles ne soient pas cristallisées, possèdent une composition assez uniforme.

La plupart contiennent une proportion d'eau combinée comprise entre 18 et 20 p. 100. Par exception, l'échantillon (VI) de Colombus n'en renferme que 12, et un échantillon de Silésie analysé par Zellner n'a donné que 1 p. 100 d'eau.

Mais, ces échantillons mis à part, on peut exprimer assez bien la composition des turquoises d'autres provenances par une formule unique, à la condition d'admettre qu'au phosphate neutre d'alumine P^2O^5 . Al^2O^3 puissent se substituer des proportions équivalentes de phosphates tribasiques de protoxydes.

Il reste alors, pour une molécule de phosphates neutres, une molécule d'alumine en excès et cinq molécules d'eau :



Mais, ainsi que je le faisais observer plus haut en parlant de l'état d'hydratation, quelques variétés s'écartent de cette formule générale, principalement en ce qui concerne la proportion d'eau contenue.

TURQUOISES OCCIDENTALES.

A côté des turquoises véritables, dont l'origine minérale est incontestable et qu'on désigne souvent par les noms de *turquoises orientales* ou de *vieille roche*, on sait que la bijouterie utilise, comme pierres communes, des matières de couleur analogue qu'on appelle *turquoises occidentales* ou de *nouvelle roche*. Elles ont une origine toute différente; car on y reconnaît aisément la structure de dents d'animaux, notamment le quadrillage caractéristique de l'ivoire. Elles méritent donc bien le nom qu'on leur donne souvent d'*odontolites*.

Ces pierres ont d'ailleurs le défaut de pâlir beaucoup à la lumière artificielle, tandis que les turquoises orientales conservent le soir leurs belles couleurs bleue ou bleu vert. Elles sont aussi beaucoup plus facilement altérables par les agents chimiques.

Elles présentent une composition très différente et qui correspond bien à leur origine; car ce sont en réalité des phosphates de chaux transformés par une fossilisation de nature spéciale.

Voici les résultats d'analyses faites sur deux échantillons d'odontolites, dont l'un (VIII) venant de Munster (Islande) est bleu verdâtre avec plusieurs nuances, et dont le second (IX) est d'un bleu vert uniforme avec quadrillage très visible.

	VIII	IX
Acide phosphorique	43,46	41,27
Alumine	22,59	17,71
Oxyde ferrique	6,45	5,80
Chaux	20,10	24,72
Magnésie	traces	0,99
Acide carbonique	5,07	5,60
Fluor	3,02	3,45
Argile	0,37	0,18
Perte au feu	»	1,20
	<hr/>	<hr/>
	101,06	100,92

Les éléments dosés se groupent naturellement de la manière suivante :

Phosphate d'alumine	53,74	42,12
Phosphate ferrique	12,18	10,94
Phosphate de magnésie	traces	2,15
Phosphate de chaux	15,78	23,07
Carbonate de chaux	11,52	12,73
Fluorure de calcium	6,20	7,08
Argile	0,37	0,18
Eau et matière organique	»	1,20
	<hr/>	<hr/>
	99,79	99,47

La composition des odontolites est donc variable, comme cela se comprend aisément pour des matières qui sont, à la vérité, d'origine analogue, mais dont le métamorphisme a pu se produire dans des conditions plus ou moins différentes.

Sous l'action, très prolongée sans doute, des eaux d'infiltration, le phosphate de chaux des dents a fait place à du phosphate d'alumine et à du phosphate ferrique; il faut remarquer qu'il n'y a pas ici de phosphate ferreux, comme dans les turquoises orientales.

Il y a eu, en même temps, fixation de fluor en quantité importante, sous forme de fluorure de calcium; car la proportion de ce composé ne devait pas dépasser, au début, ce qu'elle est actuellement dans les dents des ani-

maux vivants, c'est-à-dire 0,50 p. 100 environ, tandis qu'elle est arrivée à 6 ou 7 p. 100 par suite des phénomènes de la fossilisation.

Cette fixation du fluor a dû s'effectuer d'une manière progressive et très lente, comme je l'ai montré dans un travail spécial sur la composition des os modernes et celle des os fossiles appartenant aux différents âges géologiques (*).

La présence du fluorure de calcium et celle du carbonate de chaux, qui établissent une liaison entre les ossements fossiles et les odontolites, sont des caractères qui distinguent, au contraire, avec la plus grande sûreté, les odontolites des turquoises véritables.

(*) *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1893.

BULLETIN.

L'ÉCHELLE MOBILE DANS LES MINES
DE LA GRANDE-BRETAGNE (*)

Par M. ARTHUR FONTAINE, Ingénieur au Corps des mines.

Le système de l'échelle mobile a été préconisé comme le meilleur et presque comme un infaillible moyen d'amener l'entente entre patrons et ouvriers au sujet du taux des salaires. Il a été, de 1875 à 1890, l'objet de nombreux et importants essais, en particulier dans l'industrie minière et sidérurgique de la Grande-Bretagne. Cependant, il est aujourd'hui peu en faveur auprès des ouvriers de ce pays; ou, du moins, si beaucoup d'entre eux lui accordent encore une vertu propre et idéale, bien peu sont satisfaits des conditions pratiques de son fonctionnement. Dans les mines notamment, nous ne le trouvons plus en vigueur que dans les bassins de Galles du Sud et de South-Staffordshire East-Worcestershire; encore s'est-il fallu de peu qu'au début de 1895 l'échelle fut dénoncée dans le plus important des deux, au pays de Galles. Quelles ont été les causes de la naissance et de la disparition des échelles dans l'industrie des mines, quels sont leurs avantages et quels leurs inconvénients? Un court historique suivi de l'analyse des dépositions faites, en 1892, devant la *Royal Commission on Labour*, et du résumé de divers documents officiels ultérieurs, permettra peut-être de s'en rendre compte.

I. — APERÇU HISTORIQUE.

L'échelle mobile, on le sait, définit la variation du salaire de l'ouvrier en fonction de la variation du prix de vente d'un produit direct ou dérivé de l'exploitation: la tonne de charbon pour l'ouvrier des houillères, la tonne de fonte, de fer ou d'acier d'un type déterminé pour l'ouvrier des usines sidérurgiques et même des mines de fer.

Soit a un prix de vente unitaire pour lequel des salaires $b_1, b_2, b_3, \dots, b_p$, spéciaux à chaque genre de travaux, sont jugés suffisants ou acceptables par les parties qui construisent l'échelle; le

(*) D'après les *Blue-books de la Royal Commission on Labour* (1892) et divers comptes rendus officiels ultérieurs.

salaires ($b_p + y$) de chaque catégorie d'ouvriers sera déterminé en fonction du prix de vente ($a + x$) par l'échelle $f_p(xy) = 0$. Dans les mines, la fonction f sera généralement la même pour tous les ouvriers; parfois elle affectera deux formes, une pour les ouvriers du fond et quelques ouvriers spéciaux, l'autre pour ceux du jour; quant aux salaires de base, ils seront toujours nombreux.

Les prix de base a et b et la forme de la fonction $f(xy)$ ne reposent sur aucune considération théorique relative à un partage équitable des bénéfices; l'équité, en cette matière, ne fournit guère, d'ailleurs, que des limites extrêmes, laissant entre elles un assez vaste champ de discussion. Lorsqu'un groupe industriel établit une première échelle, a et b sont choisis expérimentalement, dans une période récente d'accord et de contentement relatifs, la fonction f est déterminée arbitrairement, parfois au moyen de quelques points de repère pris dans le passé, le plus souvent en raison des forces respectives et des calculs intéressés des parties en présence. A chaque révision, on essaie de parer aux causes de mécontentement par un ajustement nouveau soit des prix de base, soit de la fonction.

Le prix ($a + x$) (sauf dans des cas exceptionnels) n'est pas le cours du marché; il est déterminé par l'ensemble des ventes réelles faites pendant une période convenue (*audit*); il s'établit par une vérification des livres faite en commun, à intervalles réguliers, par les patrons et les délégués de leurs ouvriers. Le salaire ($b + y$) n'est donc pas fixé au jour le jour, — ce qui serait d'une difficulté inextricable; — il est coté, après chaque période, pour une durée égale à la période nouvelle d'observation; il n'est d'ailleurs modifié que pour des variations de x d'une amplitude réglée elle-même par la convention.

Le but poursuivi par la création des échelles mobiles a donc été d'espacer les points critiques où la discussion des salaires pouvait entraîner des grèves, et d'assurer à l'industrie, entre ces points qui sont les époques de révision de l'échelle, une précieuse stabilité basée sur un contrat *forfaitaire* de participation aux bénéfices. On a complé, toutefois, sur les relations qui s'établiraient entre patrons et ouvriers pour la constatation des prix, sur l'initiation corrélative des ouvriers aux difficultés commerciales des entreprises, enfin sur le développement d'un certain intérêt commun pour franchir sans à-coups violents les points critiques forcément ménagés et comme désignés par le système.

Enfin, disons tout de suite, pour achever de caractériser le

système, que l'on ne s'est guère préoccupé de donner aux échelles mobiles la valeur d'un contrat pouvant obliger les parties en justice pour la période convenue; la chose, bien que délicate, n'eût pas été en tous points impossible; mais on comptait plutôt sur le sentiment d'honneur de chacun et sur la crainte salutaire qu'inspirent d'inévitables représailles.

La forme la plus simple et la plus générale des échelles est : $x = n\alpha$, $y = n\beta$; n étant un nombre entier et β la variation du salaire acceptée par les parties pour chaque variation de prix égale à α . Elle admet un partage en proportions constantes, entre le capital et le travail, de la plus-value obtenue sur le prix de base a .

Mais l'expérience a montré les patrons disposés à faire des sacrifices plus lourds sur les bénéfices élevés dans l'espoir de ralentir, par compensation, la baisse du bénéfice en période de crise; les ouvriers, de leur côté, sont plus excités dans les temps de prospérité où ils se sentent plus forts, et se bornent, pour les époques défavorables, à essayer de garantir l'entretien des leurs par un salaire minimum. On a été, par suite, amené à faire varier β en fonction de x ; et, pour conserver des formules simples, on a établi assez fréquemment des échelles dont la représentation graphique est formée de parties discontinues de lignes droites parallèles :

$$\begin{array}{l} x = n\alpha \\ y = n\beta \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} x = n\alpha \\ y = n\beta \end{array}} \right\} \text{entre } \left\{ \begin{array}{l} n = 1 \\ n = h - 1 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} x = n\alpha \\ y = n\beta + \beta \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} x = n\alpha \\ y = n\beta + \beta \end{array}} \right\} \text{entre } \left\{ \begin{array}{l} n = h \\ n = q - 1 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} x = n\alpha \\ y = n\beta + 2\beta \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} x = n\alpha \\ y = n\beta + 2\beta \end{array}} \right\} \text{entre } \left\{ \begin{array}{l} n = q \\ n = r - 1, \text{ etc.} \end{array} \right.$$

avec la condition $b + y > M$. Pour $n = h$, $n = q$, etc., le salaire a des doubles *jumps*, des doubles sauts.

Les mêmes dispositions des ouvriers à pousser le salaire en hausse au *taux maximum*, sous la seule garantie du minimum de salaire pour les périodes de baisse, les ont conduits aussi à réclamer, pour une même valeur du coefficient de partage $\frac{\beta}{\alpha}$, des valeurs de plus en plus petites de α , c'est-à-dire des échelles de plus en plus *sensibles* à la hausse comme à la baisse.

Ces explications théoriques se trouveront commentées clairement par un tableau résumant les conditions des diverses échelles mobiles qui ont fonctionné dans l'industrie des mines en Grande-Bretagne.

PRINCIPALES ECHELLES MOBILES EXISTANT OU AYANT EXISTÉ

PAYS	DATE d'établissement	UNITÉ et produit considérés	DÉTÉ- MINATION du prix de vente	PRIX de base (a)	SALAIRE de base (b)	DÉS- GNATION des catégories d'ou- vriers	VALEUR des échelons		HAUSSE de salaire par schelling de hausse du prix de base
							du prix de l'unité (α)	du salaire (β)	
MONMOUTHSHIRE et SOUTH-WALES.	1875, 11 déc.	Tonne de gaillet-lerie.	Prix moyen net des ventes effectives augmenté du prix de transport au port d'embarquement.	sch./den. 2 groupes de mines. 1) 12/0 2) 11/0	5 p. 100 au-dessus des salaires payés en 1869.	Toutes caté- gories.	1/	7,5 / 100	7,5 / 100
	1880, 17 janv.	Id.	Id.	1) 8/6 2) 8/	Salaires payés en déc. 1879.	Id.	0/4	2,5 / 100	Id.
	1882, 6 juin.	Id.	Id.	7/8	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.
	1890, 15 janv.	Id.	Id.	7/10,5	Id.	Id.	0/1,5	1,25 / 100	10 / 100
	1892, 1 ^{er} janv.	Id.	Id.	7/10,25	Id.	Id.	0/1,71	Id.	8,75 / 100
	1895, 27 mars.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.
OCEAN (même région).	1879, 19 déc.	Tonne de gaillet-lerie.	Prix moyen net des ventes effectives, rendu Cardiff.	10/	Taux actuel + 15 p. 100.	Toutes caté- gories, sauf les chauff- leurs et méca- niciens.	0/9	5 / 100	6,67 / 100
	1882.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	2,5 / 100	3,33 / 100
							0/6	3 / 100	6 / 100
							0/4,5	2,5 / 100	6,67 / 100
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0/9	Id.	3,33 / 100	
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0/6	3 / 100	6 / 100	

(1) Le charbon est criblé au jour et le mineur payé d'après le poids de charbon criblé extrait et non d'après le poids du tout-venant.

DANS LES MINES DE LA GRANDE-BRETAGNE (MAI 1895).

FORMULE de l'échelle : a+x = prix du charbon, b+y = salaire	LIMITES d'application des formules (valeurs de n)	SALAIRE		PÉRIODE sur laquelle est déterminé le prix de l'unité	DURÉE minima de la conven- tion	APRÈS CETTE DURÉE obligatoire, la convention			OBSERVATIONS
		mini- mum	maxi- mum			est dénon- ciable à toute époque	n'est dénonciable qu'à dates fixes	Délai de préve- nance	
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	"	"	Oui.	6	6	6	"	"	(1)
Id.	$n < K (K > 0).$	"	"	4	24	"	6	6	(2)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n > K > 0.$	"	"	Id.	Id.	"	Id.	Id.	(3)
Id.	"	"	"	3					
Id.	"	"	"	2					
Id.	"	"	"	Id.					
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$-3 \leq n < 0.$	"	"	3	27	6	"	"	
Id.	$0 < n \leq 4.$	"	"	Id.	24	Id.	"	"	(4)
Id.	$n > 4.$	"	"	Id.					
Id.	$-6 \leq n < 0.$	"	"	Id.					
Id.	$0 < n \leq 4.$	"	"	Id.					
Id.	$n > 4.$	"	"	Id.					

(2) Interruption de quelques mois à la fin de 1879.
(3) En vigueur en mai 1895.

(4) Convention remplacée depuis par l'échelle de l'Association de Monmouthshire et Galles du Sud.

PAYS	DATE d'établissement	UNITÉ et produit considérés	DÉTÉRI-MINATION du prix de vente	PRIX de base (a)	SALAIRE de base (b)	DÉSI-GNATION des catégories d'ouvriers	VALEUR des échelons		HAUSSE de salaire par scbelling de hausse du prix de base (10)
							du prix de l'unité (α)	du salaire (β)	
FERNDALE (même région).	1879, 3 nov.	Tonne de gaillet-terie.	Prix moyen net des ventes effectives, rendu Cardiff.	sch./den. 8/6	Taux de déc. 1879.	Tous ouvriers.	sch./den. 0/6	$\frac{3,75}{100} b$	$\frac{7,5}{100} b$
	1881.	Id.	Id.	8/	Id.	Id.	0/4	$\frac{2,5}{100} b$	Id.
FOREST OF DEAN (même région).	1893, 14 sept.	Tonne de gaillet-terie, 1 ^{re} qualité.	Prix de vente sur le puits.	9/6	"	Tous ouvriers.	0/6	$\frac{2,5}{100} b$	$\frac{5}{100} b$
SOMERSET (même région).	1876, 13 avril.	Tonne de houille tout-venant	Prix moyen net de vente, rendu à quai pour les bateaux et wagons, sur le carreau pour les voitures.	10/	Taux de déc. 1871 + 10 p. 100.	Tous ouvriers.	"	"	$\frac{7,5}{100} b$
DURHAM.	1877, 14 mars.	Tonne de houille tout-venant.	Prix net réalisé pour tout le charbon extrait.	5/8	Salaire en 1877.	Ouvriers du fond.	0/4	$\frac{5}{100} b$	$\frac{15}{100} b$
						Ouvriers du jour, sauf machinistes et ouvriers du coke.	0/8	$\frac{7,5}{100} b$	$\frac{7,5}{100} b$
							0/4	$\frac{15}{100} b$	$\frac{15}{100} b$
							0/8	$\frac{4}{100} b$	$\frac{7,5}{100} b$

(1) Convention remplacée depuis par l'échelle de l'Association de Monmouthshire et Galles du Sud.

(2) Vérification faite sur avis du patron que les prix sont modifiés.

FORMULE de l'échelle : $a + x = \text{prix du charbon,}$ $b + y = \text{salaire}$	LIMITES d'application des formules (valeurs de n)	SALAIRE		PÉRIODE sur laquelle est déterminé le prix de l'unité	DURÉE minima de la conven-tion	APRÈS CETTE DURÉE obligatoire, la convention			OBSERVATIONS
		mini-mum	maxi-mum			est dénon-çable à toute époque	n'est dénonçable qu'à dates fixes	Délai de préve-nance	
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
$x = na,$ $y = n\beta.$	"	"	"	mois 3	mois 24	mois 6			
Id.	$n \leq 10.$	"	"	Id.	Id.	Id.			(1)
$x = na,$ $y = n\beta - \frac{p}{2}.$	$n = 11.$	"	"	Id.	Id.	Id.			
$x = na,$ $y = n\beta - p.$	$n \geq 12.$	"	"	Id.	Id.	Id.			
$x = na,$ $y = n\beta.$	"	"	"	(2)	0	"	6	6	(3)
$\frac{y}{x} = \frac{7,5}{100} b.$	"	$\frac{y}{x} \geq \frac{5b}{100}$	$\frac{y}{x} \leq \frac{62b}{100}$	12 jours (4)	0	6	"	"	(5)
$x = na,$ $y = n\beta.$	$n < 0$	$y > \frac{7,5}{100} b$							
	$n > 0$								
Id.	$n < 0$	$y > \frac{6}{100} b$		4	24	"	"	"	(6)
	$n > 0$								

(3) En vigueur en mai 1895.

(4) Suivant tout changement des cours.
(5) L'échelle a duré une dizaine d'années.

(6) Courte interruption de quel-ques mois en 1879.

PAYS	DATE d'établissement	UNITÉ et produit considérés	DÉTERMINATION du prix de vente	PRIX de base (a)	SALAIRE de base (b)	DÉSIGNATION des catégories d'ouvriers	VALEUR des échelons		HAUSSE de salaire par schelling de hausse du prix de base
							du prix de l'unité (α)	du salaire (β)	
DURHAM (suite).	1879, 11 oct.	Tonne de houille tout-venant.	Prix net réalisé pour tout le charbon extrait.	sch./den. 4/2	Salaire fin 1879.	Fond, machinistes et coke.	sch./den. 0/4	2,5 100 ^b	7,5 100 ^b
	1882, 29 avril.	Id.	On ajoutera la valeur du charbon utilisé autrement que pour les besoins directs de la mine au total des ventes effectives.	3/10	Id.	Fond, machines, coke.	0/2	1,25 100 ^b	7,5 100 ^b
	1884, 12 juin.	Id.	Id.	Id.	Id.	Mêmes catégories.	Id.	Mêmes valeurs.	Mêmes valeurs.
NORTHUMBERLAND.	1879.	Tonne de houille tout-venant.	Le quotient de la quantité totale d'argent reçu pour les ventes par le nombre de tonnes extraites.	5/1,28 à 5/	Salaire fin 1879.	Fond (*).	0/4	2,5 100 ^b	7,5 100 ^b
	1883, 9 mars.	Id.	Id.	4/8	Id.	Jour (*).	Id.	2 100 ^b	6 100 ^b
						Fond (*).	0/2	1,25 100 ^b	7,5 100 ^b
						Jour (*).	Id.	1 100 ^b	6 100 ^b

(1) Courte interruption après les vingt-sept mois. | (3) A duré jusqu'au 31 juillet 1889; depuis, plus d'échelle mobile.
 (2) Interruption de sept mois.

FORMULE de l'échelle : $a+x = \text{prix du charbon,}$ $b+x = \text{salaire}$	LIMITES d'application des formules (valeurs de n)	SALAIRE		PÉRIODE sur laquelle le prix de l'unité	DURÉE minima de la convention	APRÈS CETTE DURÉE obligatoire, la convention			OBSERVATIONS
		mini-mum	maxi-mum			est dénonçable à toute époque	n'est dénonçable qu'à dates fixes	Délai de prévenance	
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n \leq +4$	$y > -$	"	mois	mois	mois	mois	mois	
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + \beta.$	$n \geq +5$	$\frac{y}{3} > -$	"	4	27				(1)
Mêmes formules.	Mêmes limites.	$\frac{y}{4} > -$	"						
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$-2 \leq n \leq 12$		"			6	"	"	
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + \beta.$	$n = 13$	$n > -2$	"	3	14				(2)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + 2\beta.$	$14 \leq n$		"						
Mêmes formules.	Mêmes limites.	Id.	"						
Mêmes formules.	Mêmes limites.	Id.	"	Id.	25	"	12	2	(3)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n \leq +3$		"						
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + \beta.$	$+4 \leq n \leq 11$		"	3	12				
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + 2\beta.$	$12 \leq n$		"						
Mêmes formules.	Mêmes limites.		"						
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n \leq 7$		"				12	1	
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + \beta.$	$8 \leq n \leq 9$		"						
$\vdots + 2\beta,$	$10 \leq n \leq 14$		"						
$\vdots + 3\beta,$	$15 \leq n \leq 17$		"						
$\vdots + 4\beta,$	$18 \leq n \leq 22$		"	Id.	10				(5)
$\vdots + 5\beta.$	$23 \leq n \leq 25$		"						
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + 6\beta.$	$26 \leq n$		"						
Mêmes formules.	Mêmes limites.		"						

(4) Les mécaniciens et les ouvriers du coke ne sont pas régis par l'échelle. | (5) Couche moyenne $\frac{y}{x} = \frac{32\beta}{26\alpha}$.

PAYS	DATE d'établis- sement	UNITÉ et produit con- sidérés	DÉTER- MINATION du prix de vente	PRIX de base (a)	SALAIRE de base (b)	DÉSI- GNATION des catégories d'ou- vriers	VALEUR des échelons		HAUSSE de salaire par schelling de hausse du prix de base
							du prix de l'unité (α)	du salaire (β)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
NORTHUMBER- LAND (suite).	1887, mai.	Tonne de houille tout- venant.	Le quo- tient de la quantité totale d'argent reçu pour les ventes par le nombre de tonnes extraits.	sch./den. 4/8	12 1/2 p. 100 de réduction sur le salaire de 1879.	Fond et jour (1).	sch./den. 0/1	1,25 100 ^b	15 100 ^b
						Fond (1).	0/2	Id.	7,5 100 ^b
						Jour (1).	Id.	1 100 ^b	6 100 ^b
CUMBERLAND.	1879, 31 oct.	Tonne de houille tout- venant.	Quotient du total de l'argent reçu pour les ventes par le nombre de tonnes extraites.	4/6,19	3 ^e trimes- tre de 1879.	Ouvriers à veine.	0/4	2,5 100 ^b	7,5 100 ^b
	1882, 29 sept.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	
									1884, 28 nov.
1887, 25 févr.	Id.	Id.	Id.	4/6,5	Id.	Id.	Mêmes valeurs.	Mêmes valeurs.	Mêmes valeurs.

(1) Les mécaniciens et les ouvriers du coke ne sont pas régis par l'échelle.

(2) L'échelle a été dénoncée à la fin de 1887; on du régime pour le Northumberland.

FORMULE de l'échelle : $a + x =$ prix du charbon, $b + y =$ salaire	LIMITES d'application des formules (valeurs de n)	SALAIRE		PÉRIODE sur laquelle est déterminé le prix de l'unité	DURÉE minima de la conven- tion	APRÈS CETTE DURÉE obligatoire, la convention			OBSERVATIONS
		mini- mum	maxi- mum			est dénon- çable à toute époque	n'est dénonçable qu'à dates fixes		
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	Délai de préve- nance	Durée des périodes inclues entre ces dates	Délai de préve- nance	(20)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n \leq 10$			mois	mois	mois	mois	mois	
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$11 \leq n \leq 17$			3	7	"	12	1	(4)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$18 \leq n \leq 19$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$20 \leq n \leq 24$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$25 \leq n \leq 27$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$28 \leq n \leq 32$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta + 6\beta.$	$33 \leq n \leq 35$								
Les sept formules ci-dessus.	Mêmes limites.								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n \leq + 2$			3	24	"	6	"	(3)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$3 \leq n \leq 5$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$6 \leq n$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$n \leq + 2$			Id.	15	"	"	"	(5)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$3 \leq n \leq 5$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$6 \leq n \leq 8$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$9 \leq n \leq 11$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$12 \leq n$								
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	$0 \leq n \leq 16$			Id.	13	"	12	3	(4)
Id.	$n < 0$ $n > 16$								
Id.	Mêmes limites.			"	22	"	"	"	"

(3) Une année d'interruption à partir d'octobre 1881.

(4) Deux mois d'interruption au début de 1887.
(5) Convention dénoncée en 1889.

PAYS	DATE d'établissement	UNITÉ et produit con- sidérés	DÉTER- MINATION du prix de vente	PRIX de base (a)	SALAIRE de base (b)	DÉSI- GNATION des catégories d'ou- vriers	VALEUR des échelons		HAUSSE de salaire par schelling de hausse du prix de base
							du prix de l'unité (α)	du salaire (β)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
S. STAFFORDSHIRE, E. WORCESTER- SHIRE.	1874.	Tonne de char- bon gras.	Cours.	sch./den. "	4/6 (1) 3/3 (1)	Ouvriers à veine. (Charbon gras.) (Charbon menu.)	sch./den. 0/6	0/3	0/6
	1877, 1 ^{er} nov.	Id.	Prix cotés dans le "Earl of Dudley's circular."	9/	3/6 2/3	Mêmes caté- gories.)	1/0 Id.	Id. 0/1,5	0/3 0/1,5
	1882. 1 ^{er} janv.	Id.	Id.	Id.	3/6 2/3	Id.	Id.	0/3 0/4	0/3 0/4
	1888.	Id.	Prix moyen de vente.	4/9	3/4 2/8	Id.	0/2 Id.	0/1 0/75	0/6 0/4,5
CANNOCK CHASE (S. Staffords).	1882.	Tonne de houille tout- venant.	Prix moyen des ventes effectives totales.	6/1	2/4,5 peu strict.	Tous les ouvriers.	0/4	0/1,25	0/3,75
TAMWORTH (S. Staffords).	"	"	"	"	"	"	"	"	"
BEDWORTH.	1879, 10 nov.	Tonne de houille tout- venant.	Prix moyen des ventes effectives totales.	5/6	3/4	Ouvriers à veine.	0/3	0/1	0/1
SHROPSHIRE.	Echelle an- cienne	Tonne de fonte.	Cours moyen.	L 8,10/	4/6 pour 8 heures.	Houil- leurs.	10/	0/3	"
DERBYSHIRE, LEICESTER- SHIRE.	1875.	"	"	"	"	"	"	"	"

(1) La différence entre les deux catégories est illusoire parce que les mineurs de la seconde abattent plus que le tonnage correspondant au salaire type d'une journée.
(2) Echelle abandonnée en mai 1883. Interruption jusqu'en 1888.

(3) Encore en vigueur en mai 1895.
(4) En cas de changement général des cours, la période peut être réduite à quinze jours.
(5) Trois échelles ont été en vigueur avant celle de 1882, la première en 1874.

FORMULE de l'échelle : $a + x =$ prix du charbon, $b + y =$ salaire	LIMITES d'application des formules (valeurs de n)	SALAIRE		PÉRIODE sur laquelle est déterminé le prix de l'unité	DURÉE minima de la conven- tion	APRÈS CETTE DURÉE obligatoire la convention			OBSERVATIONS
		mini- mum	maxi- mum			est dénon- çable à toute époque	n'est dénonçable qu'à dates fixes		
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	Délai de préven- ance	Durée des périodes incluses entre ces dates	Délai de préven- ance	(20)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta$	"	3/6	5/6	mois	mois	mois	mois	mois	
Id.	"	"	"	"	"	"	"	"	
Id.	$n < 0$ $n > 0$	"	"	"	6				(2)
Id.	Id.	"	"	3	"	3			(3)
Id.	"	$n \geq 0$	"	3	"				(3)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	"	$n \geq 0$	"	3 (4)	12	6	"	"	(5) (6)
"	"	"	"	"	"	"	"	"	(7)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	"	"	"	1	"	Oui.	"	"	(8)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta.$	"	$n \geq -6$	"	"	"	"	"	"	(9)
"	"	"	"	"	"	"	"	"	(10)

(6) Dénoncée en 1883. Les ouvriers proposent le rétablissement en 1884, mais les négociations n'aboutissent pas.
(7) Dénoncée dès la première application qui fut une baisse.

(8) A duré quelques années.
(9) Abandonnée depuis longtemps.
(10) N'a duré que quelques mois.

PAYS	DATE d'établissement	UNITÉ et produit considérés	DÉTERMINATION du prix de vente	PRIX de base (a)	SALAIRE de base (b)	DÉSIGNATION des catégories d'ouvriers	VALEUR des échelons			HAUSSE de salaire par schelling de hausse du prix de base
							du prix de l'unité (α)	du salaire (β)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
NORTH-LANGASHIRE (Altham-Colliery).	1885.	"	"	sch./den.	"	"	sch./den.	"	"	"
WEST-YORKSHIRE.	1879.	Tonne de houille tout-venant.	Montant des ventes divisé par l'extraction.	5/6, 48	5/6	Ouvriers à veine.	0/4	$\frac{2,5}{100} b$	$\frac{7,5}{100} b$	
NORTH-WALES.	1880.	Tonne de houille tout-venant.	Montant des ventes divisé par l'extraction.	Prix en décembre 1879.	Salaire de décembre 1879.	Fond.	0/4	$\frac{2,5}{100} b$	$\frac{7,5}{100} b$	
AYRSHIRE.	1873.	"	"	"	"	"	"	"	"	
LANARKSHIRE.	1887, 28 juin.	Tonne de houille tout-venant.	Montant des ventes divisé par exploitation.	4/4	Juin 1887.	Ouvriers à veine.	?	$\frac{2,5}{100} b$	"	
	1879, 5 nov.	"	"	"	"	"	"	"	"	
CLEVELAND (mines de fer).	1881.	Tonne de fonte n° 3.	Prix moyen net de vente.	34/	Les mois qui ont précédé novembre 1879.	Toutes catégories.	0/0,96	$\frac{0,01}{100} b$	$\frac{0,075}{100} b$	
	1884.	Id.	Id.	Id.	Id.	Mêmes catégories.	0/0,48	$\frac{0,08}{100} b$	Mêmes valeurs.	
	1885.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Mêmes valeurs.	
	1887, 12 sept.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	

(1) Dénoncée en 1888.

(2) Cesse de fonctionner en mars 1881.

(3) Dénoncée par les ouvriers dès 1881.

(4) A duré douze mois.

(5) Echelle faite par les patrons seuls, n'a duré que quelques mois.

(6) Echelle probablement identique aux suivantes.

FORMULE de l'échelle : $a+x = \text{prix}$ du charbon, $b+x = \text{salaire}$	LIMITES d'application des formules (valeurs de n)	SALAIRE		PÉRIODE sur laquelle est déterminé le prix de l'unité	DURÉE minima de la convention	APRÈS CETTE DURÉE obligatoire, la convention			OBSERVATIONS
		mini-mum	maxi-mum			est dénonçable à toute époque	n'est dénonçable qu'à dates fixes		
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	Délai de prévenance	Durée des périodes incluses entre ces dates	Délai de prévenance	(20)
"	"	"	"	mois	mois	mois	mois	mois	(1)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta,$	"	"	"	"	"	"	"	"	(2)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta,$	"	"	"	3	6	3	"	"	(3)
"	"	"	"	"	"	"	"	"	(4)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta,$	"	"	"	1	"	"	"	"	(5)
"	"	"	"	"	"	"	"	"	(6)
$x = n\alpha,$ $y = n\beta,$	"	"	"	3	?	"	"	"	(7)
Id.	$76 \leq n \leq 125$	"	"	Id.	Id.	"	"	"	(8)
Id.	Mêmes limites.	"	"	Id.	Id.	"	"	"	(9)

(7) 0^d 1, abatage; 0^d 3/4, machines0,10 p. 100 de b jour, sauf abatage.0,08 p. 100 de b fond, sauf machines.

(8) Interruption de juin à septembre 1887

(9) Echelle abandonnée en juin 1889.

Ce tableau comporte quelques constatations intéressantes en outre des observations générales faites dans l'exposé même qui le précède :

1° Le système de l'échelle mobile a régné à un moment dans une grande partie de l'industrie houillère de Grande-Bretagne. Des sept grands districts houillers de la Grande-Bretagne : South-Wales, North-Wales, Centre sud, Centre ouest, Centre est, Newcastle et Écosse, le Centre ouest (Lancashire, North Staffordshire) est le seul qui n'ait pas été sérieusement entamé par le système. Une échelle a pu fonctionner dans une houillère de North Lancashire; les autres tentatives ont échoué pour ce bassin. Les essais ont encore été peu importants dans le North Wales et le Centre est (Yorkshire Derbyshire); le système a gouverné longtemps le bassin de Newcastle (Durham, Northumberland Cumberland); il dure encore dans les bassins de Galles du Sud, ainsi que dans une grande partie des mines du Centre sud (S. Staffordshire, E. Worcestershire.)

On peut dire que les essais ont eu lieu dans des houillères représentant près des trois quarts de la production du Royaume-Uni, qu'ils se sont prolongés douze à quinze ans pour près de 40 p. 100 de cette production et qu'ils durèrent encore pour moins de 25 p. 100.

2° Un certain nombre d'échelles ne se sont appliquées qu'aux ouvriers à veine payés à la tâche; mais, forcément, le salaire des autres ouvriers, bien que non déterminé par elles, participait aux mouvements généraux de hausse et de baisse. Les ouvriers du jour, lorsque leur salaire était réglé par l'échelle, étaient souvent (Durham, Northumberland) traités moins favorablement que ceux du fond.

3° Les ouvriers ont paré à la baisse du charbon en profitant des renouvellements de convention pour faire baisser les prix de base (a) correspondant aux salaires de base (b). C'est aussi sur les prix de base (12,5 p. 100 de baisse sur la valeur de b pour une même valeur de a , en 1887, dans le Northumberland) que les patrons ont dû agir pour rétablir leurs affaires compromises par une période de dépression.

4° Le coefficient de partage $\frac{\beta}{\alpha}$ a ordinairement peu varié pour une même région à travers les renouvellements de convention. Dans le pays de Galles, pour un schelling de hausse de prix on accordait, il est vrai, en 1875, 7,5 p. 100 et, en 1895, 8 3/4, p. 100

de plus-value de salaire (*); mais c'est plutôt par le jeu des doubles sauts qui doit amener un partage moyen $\frac{\beta'}{\alpha} > \frac{\beta}{\alpha}$ que l'on a offert à l'ouvrier (bassin de Newcastle) un accroissement de sa part. de six, donnait un coefficient moyen de $\frac{32}{26}$ de $\frac{\beta}{\alpha}$; soit de 9 1/4. L'échelle de 1883 du Northumberland, où ils ont été au nombre p. 100 par schelling, $\frac{\beta}{\alpha}$ étant resté égal à 7,5 p. 100 de b par schelling de hausse sur a .

Comme le prix de vente du charbon tout-venant n'atteignit jamais l'échelon du premier saut fixé à 6 schellings, qu'il en fut de même dans le Durham, et que dans le Cumberland les deux premiers doubles sauts seuls fonctionnèrent de 1882 à 1884, on peut conclure que le coefficient moyen *pratique* de partage $\frac{\beta'}{\alpha}$ n'a guère différé de $\frac{\beta}{\alpha}$.

Dans les échelles qui ont réellement fonctionné, le coefficient de partage a été le plus souvent de 7,5 p. 100 de hausse du salaire type par schelling de hausse du prix de base; exceptionnellement de 7,5 à 12 p. 100 et de 5 à 7,5 p. 100. C'est une variation de salaire de 2 à 6 d. par schelling de hausse du prix de la tonne de houille, et très habituellement de 3 ou 4 deniers; on accorde au travail le quart ou le tiers de la plus-value.

5° Les doubles sauts sont, ai-je dit dans l'exposé qui précède le tableau, un indice de la tendance des ouvriers à profiter des moments favorables pour pousser le salaire le plus haut possible; de même, la réduction progressive des échelons, pour une même valeur de coefficient de partage, qui accompagne les renouvellements des principales échelles (Galles du Sud, Newcastle, etc.); l'échelon du prix de la houille tombe de 1 schelling à 2 pence.

C'est encore le même désir de rendre l'échelle de plus en plus sensible et rapide qui explique les réductions successives de la période sur laquelle sont calculés les prix moyens de vente, lesquels déterminent à leur tour, après le délai de vérification, les salaires d'une période nouvelle; de six mois elle tombe à trois et même au-dessous.

(*) L'échelle de 1890 avait même pour coefficient 10 p. 100 par schelling; ce coefficient fut abaissé en 1892.

6° Le maximum de salaire a été rarement prévu : Galles 1875, Somerset 1876, Staffordshire 1874 : c'est au début du système.

Le minimum s'est mieux maintenu, défendu par les ouvriers : Durham, Océan, Cannock Chase, Staffordshire 1889, etc. La question n'a pas eu d'ailleurs d'importance pratique et la limite n'a pas été atteinte.

7° Les conventions conclues pour une durée ferme d'un an et plus souvent même de deux ans continuent à être en vigueur *de plano*, après cette durée, jusqu'à dénonciation. Le délai de prévenance pour la dénonciation est souvent de trois et plus généralement de six mois. Dans plusieurs districts, la convention ne pouvait prendre fin qu'à des échéances semestrielles et sous réserve de prévenance dans le délai stipulé.

Fonctionnement des échelles au point de vue du salaire. — On trouve au tableau de la page 348, les variations de salaires qui se sont produites de 1879 à 1891, dans un certain nombre de districts miniers; parmi ces districts, les uns ont eu recours au système de l'échelle mobile, et les autres n'en ont pas fait l'essai. Les chiffres inscrits dans ce tableau indiquent le taux du salaire à chaque époque par rapport à un salaire initial B qui est, autant que possible, celui de la fin de 1879.

Les ouvriers ont-ils plus obtenu au moyen de l'échelle mobile que par un autre système ?

Si l'on embrasse une période de temps assez longue, on voit immédiatement que le jeu de l'échelle mobile, grâce aux ajustements successifs des prix de base, est ramené aux lois ordinaires de l'offre et de la demande. Celles-ci, dans les districts du Royaume-Uni régis par les échelles comme dans les autres, expriment l'équilibre des forces antagonistes des associations patronales et ouvrières et d'autres forces liées aux conditions économiques générales de l'industrie.

On lit dans les livres bleus de la *Royal Commission on Labour*, à la déposition de M. Hugh Bell, l'un des chefs de l'association patronale des propriétaires de mines de Cleveland, que de 1869 à 1879 l'échelle eût donné aux ouvriers de meilleurs salaires qu'ils n'en ont eu; mais cette échelle eût-elle été concédée en 1869 ?

Pour le Lancashire, qui n'a jamais eu d'échelle mobile en fonctionnement, le salaire des ouvriers à veine s'est élevé, de 1879 à 1891, de plus de 60 p. 100 de sa valeur initiale; pour le district Monmouthshire and South Wales, qui est resté le plus fidèle à l'échelle, l'accroissement donné par le jeu des

échelles durant la même période a été de 57 p. 100. De même, les ouvriers de l'Unstone-Coal and Coke Company, dans le Derby, ont obtenu sans l'échelle les mêmes résultats que ceux du district S. Staffordshire and East Worcestershire qui pratiquent encore le Sliding Scale.

A la fin de l'année 1889, le jeu régulier de l'échelle de Galles du Sud assurait aux ouvriers une avance de 32 1/2 p. 100 sur les salaires types de 1879, et les mineurs du Lancashire obtenaient, dans cette même année, une avance de 32 p. 100. L'échelle du Durham n'aurait donné, à la fin de 1889, qu'une avance maxima de 15 p. 100 sur les salaires types de 1879; elle fut dénoncée en juillet et l'avance atteignit 25. Dans le Northumberland, où l'échelle était supprimée depuis 1887, l'avance maxima fut d'à peu près 20 à la même époque, tandis qu'elle n'eût pas dépassé 10 d'après l'échelle de 1883 et 5 1/2 d'après l'échelle de 1887.

Depuis la dénonciation de son échelle (1889), l'ouvrier du Durham a gagné 30 p. 100, tandis que l'ouvrier du pays de Galles gagnait 35 p. 100 sur le salaire de 1889; depuis la dénonciation de l'échelle (1887) l'ouvrier du Northumberland a gagné 48 p. 100, tandis que l'ouvrier du pays de Galles gagnait 51 p. 100 sur le salaire de 1887.

Ces exemples suffisent à montrer que le système de l'échelle mobile n'a pas eu d'influence sur la marche générale des salaires. Là où les bases et fonctions adoptées étaient défavorables aux ouvriers, il disparaissait (Durham 1889, Northumberland 1887). — Lorsqu'il donnait au contraire une avance trop forte aux ouvriers, relativement à l'allure moyenne des salaires de l'industrie minière du Royaume-Uni, il était dénoncé par les patrons (Staffordshire 1883). — Il n'en pouvait pas être autrement.

TABLEAU DES VARIATIONS DE SALAIRE DANS L'INDUSTRIE MINIÈRE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(Pour chaque période, on a inscrit le salaire le plus longtemps pratiqué dans la période et non le maximum de salaire.)

ANNÉES et semestres	S. WALES Monmouthshire (1)	DURHAM (2)	NORTHUMBERLAND (3)	CUMBERLAND (4)	CANNOCK CHASE (5)	STAFFORDSHIRE (6)	DERBY (7)	LANCASHIRE and Cheshire (8)	TAMWORTH (9)	FIFE, Clackmannan, Kinross (10)	LANARKSHIRE (11)
1879	B	B	B	B	B	B		B	B	?	?
1880-1	+ 5	B	2 1/2	5	B	10					
1880-2	+ 5	B	B	5	B	B		10			
1881-1	+ 5	2 1/2	2 1/2	5	B	5					
1881-2	+ 7 1/2	2 1/2	B	10	5	B		21			
1882-1	+ 10	6 1/4	B	10	5	10					
1882-2	+ 15	5	B	15	5	20					
1883-1	+ 15	7 1/2	1 1/4	15	10	20					
1883-2	+ 15	7 1/2	5	8 3/4	5						
1884-1	+ 17 1/2	7 1/2	3 3/4	10			8,9				
1884-2	+ 17 1/2	6 1/4	3 3/4	5							
1885-1	+ 15	6 1/4	2 1/4	6 1/4							
1885-2	+ 12 1/2	5	1 1/2	3 3/4						B	B
1886-1	+ 7 1/2	5	B	3 3/4		B			B	B	B
1886-2	+ 7 1/2	3 3/4	B	- 1 1/4						B	B
1887-1	+ 5	3 3/4	B	6 1/4					10	10	10
1887-2	+ 2 1/2	3 3/4	-12 1/2	5						5	5
1888-1	+ 2 1/2	3 3/4	-12 1/2	5						5	5
1888-2	+ 2 1/2	3 3/4	- 7 1/2	10	15		19,8			B	2 1/2
1889-1	+ 15	5	2	10	15	20				15	22
1889-2	+ 22 1/2	15	10	20	20		32			30	33
1890-1	+ 32 1/2	30	20		37		45			50	60
1890-2	+ 50	30	30		50		60				
1891-1	+ 55	35	30			55		40			60
1891-2	+ 57 1/2										
1892-1	+ 43 3/4										
1892-2	+ 33 3/4										
1893-1	+ 20										
1893-2	+ 12 1/2										
1894-1	+ 26 1/2										
1894-2	+ 23 3/4										
1895-1	+ 20										

(1) Monmouthshire and South Wales Coal Owners Ass.

(2) Durham Coal Owners Ass. B = 4s/5d pour les houilleurs; en 6 1/2 de travail.

(3) Northumberland Coal Owners Ass. B = 5/2d pour houilleurs (steam coal); 6 1/2 de travail.

(4) M. Crawford Munro, *Sliding Scales*.

(5) Cannock Chase Coal Owners Ass. B = 2s/3d per stint. Le salaire d'un houilleur est à peu près de $\frac{3}{2} B = 3/5$.

(6) Amalgamated Society of Staffordshire Miners. B = 3/0 pour les houilleurs.

South Staffordshire and East Worcestershire Coal Master's Ass. Mêmes indications.

(7) Unstone Coal and Coke Company, Derby. B = 4s/9d (houilleurs.)

(8) South Lancashire and Cheshire Coal Owners Ass. B = 4/5d pour les houilleurs.

(9) Mining Ass. of Great Britain (Coal Mining, patrons). B = 3s/4 (Standard, minimum).

(10) F. C. and K. Coal Owners Ass.

(11) Lanarkshire Coal Masters Ass. B = 3s/9d.

Au contraire, sur de courtes périodes, le système s'est vraiment prêté à de fréquentes et assez importantes oscillations de salaire, qu'il eût été, autrement, difficile de réaliser sans grève. Il a donc bien, *pratiquement*, lié le prix de revient au prix de vente; les délais de prévenance ayant toujours été respectés par les deux parties, il a permis d'entreprendre les campagnes commerciales avec une sécurité qui, en retour, était pour les ouvriers un gage d'abondance de travail.

Une dernière remarque : on voit sur le tableau que les hausses de salaire se produisent plus vite là où il n'existe pas d'échelle mobile. Ainsi, de 1889 à 1891, le Lancashire est en avance de quelques mois sur le pays de Galles. Cela tient à ce que les salaires, avec le Sliding Scale, sont régis par les prix de vente d'une période de quelques mois antérieure. Inversement, au moment des baisses, les ouvriers devraient avoir un avantage avec le Sliding Scale; il n'en est rien, car, dans les autres districts, ce retard à la baisse se produit aussi, à cause de la difficulté qu'éprouvent toujours les patrons à baisser les salaires. — Cette remarque contribue à expliquer, sans la justifier au point de vue de la raison pure, la tendance des ouvriers à demander des échelles de plus en plus sensibles et rapides.

Éducation des classes ouvrières. — Quant aux résultats d'ordre moral, il est assez délicat d'y insister. Il me suffira de dire que les mineurs du pays de Galles ne paraissent pas s'être élevés plus rapidement que ceux du Durham et du Northumberland qui ont dénoncé leurs échelles en 1887 et 1889, et qui sont incontestablement aujourd'hui à la tête des mineurs de la Grande-Bretagne. Le côté éducateur du système, qui est surtout dans le rôle du comité mixte des salaires, dans l'habitude que prennent les hommes de discuter sérieusement leurs intérêts et de subordonner leurs décisions au respect de la parole donnée, se retrouve, en effet, aussi fortement au moins, dans les comités permanents mixtes de conciliation et d'arbitrage qui, de plus en plus, se substituent au régime des échelles mobiles. C'est par un tel conseil que, sans la menace énergique de lock-out, faite par les patrons au début de 1895, les mineurs du pays de Galles eussent probablement remplacé leur échelle.

II. — APPRÉCIATION PAR LES INTÉRESSÉS PATRONS ET OUVRIERS
DU SYSTÈME DE L'ÉCHELLE MOBILE.

(Réponses aux enquêtes de la *Royal Commission on Labour*.)

1° Le plus grand nombre des représentants ouvriers sont partisans, *en principe*, de l'échelle mobile. Ils croient qu'elle pourrait servir à améliorer les relations entre le capital et le travail, éviter les grèves inutiles et les pertes qu'elles entraînent, assurer une plus grande régularité au travail, garantir à l'ouvrier un salaire équitable.

Mais, pour cela, il faudrait une bonne échelle ! Il faut que les hausses se produisent rapidement dès que haussent les prix, que l'accroissement de salaire soit important, que les salaires ne tombent jamais très bas, que la convention soit facile à comprendre, les vérifications aisées. Il faudrait, dit l'Association des mineurs de Northumberland « faire entrer en ligne de compte et concilier avec le système tous les facteurs imprévus qui pourraient dans l'avenir faire courir des dangers à cette échelle. »

Dans les districts où l'échelle mobile ne fonctionne plus, et dans ceux où elle n'a jamais fonctionné, on comprend la difficulté de trouver une telle base. Les uns pensent qu'on y parviendrait parvenir et ne proposent toutefois aucune idée pratique, les autres de plus en plus nombreux sont devenus fort sceptiques.

Dans les districts où l'échelle fonctionne, on se plaint surtout du nombre considérable de petites contestations auxquelles elle donne lieu. On demande généralement la nomination d'arbitres pour les résoudre rapidement; c'est d'ailleurs le vœu de tous les groupements ouvriers qui préconisent encore le *Sliding Scale*. Un certain nombre d'associations considèrent même l'institution d'un arbitre chargé de trancher les difficultés relatives à la conclusion même de la convention, comme indispensable au bon fonctionnement du système.

2° Les patrons sont, en grande majorité, très bien disposés pour le système en raison de l'excellent appui qu'il fournit aux opérations à long terme; ils croient que les ouvriers y trouvent leur compte; mais ils signalent la difficulté de trouver une base équitable ou *jugée telle* par les ouvriers. Faute de base rationnelle, ils pensent qu'il ne faut guère traiter pour plus de deux ans. Ils sont tout à fait hostiles à la fixation d'une échelle par un arbitre, mais un grand nombre admet son intervention pour l'interpré-

tation de la convention. Quelques-uns, cependant, pensent qu'une décision arbitrale n'est compatible qu'avec une sanction pénale assurant l'exécution des contrats. Ainsi, des amendes infligées aux associations patronales ou ouvrières.

La coexistence d'une échelle mobile et d'un bureau mixte ou conseil de conciliation ne paraît pas repoussée par les patrons, en général.

III. — CONCLUSIONS.

Les dépositions et les appréciations que nous venons de résumer, viennent corroborer les conclusions que nous avons tirées de la définition, de l'historique et des résultats financiers du système de l'échelle mobile.

Les échelles mobiles sont nées d'un besoin de stabilité dans les éléments du prix de revient, en vue de la sécurité des relations commerciales, besoin ressenti par le patron. L'idée s'en est imposée dans les périodes de lassitude qui suivent les grèves; jugeant d'après leurs sentiments du moment, patrons et ouvriers ont accordé d'abord une valeur absolue aux formules arbitraires qui avaient été établies pour le partage des bénéfices. L'essai a réussi lorsque les échelles ont été fondées non à de hauts cours, mais en période de hausse. Puis bientôt et sans tenir peut-être assez compte des avantages corrélatifs qu'entraînaient pour eux la stabilité commerciale et l'espacement des grèves, les ouvriers en sont venus à désirer des conditions plus favorables, et les échelles se sont écroulées une à une devant les demandes de modification des prix de base. Les échelles qui ont résisté étaient calculées *largement* pour les ouvriers et leur ont donné avec moins de luttes, de grèves et de souffrances, des bénéfices équivalents à ceux obtenus par les mineurs des autres districts.

Il semble inutile d'insister à nouveau sur les avantages que présente le système de l'échelle mobile; chacun conçoit immédiatement quelle sécurité offre pour la négociation des marchés et le développement de la vente la connaissance anticipée du salaire correspondant au prix moyen de vente; nous avons montré que, sur ce point, les résultats de l'expérience étaient d'accord avec les inductions de la raison, et beaucoup de syndicats ouvriers s'en sont bien rendu compte (*). On accorde de

(*) Voir notamment la déposition de M. R. Young, de la *Northumberland Miner's Mutual Confident Association*.

même facilement que le système provoquant automatiquement de petites baisses de salaire, et n'acculant jamais l'exploitant à la nécessité d'opérer de grandes et subites réductions, évite en partie le mécontentement ouvrier et les grèves, du moins pendant le cours d'une convention et lorsqu'une forte crise n'entraîne pas le salaire trop bas. On se rend compte, enfin, qu'une espèce de participation aux bénéfices est désirable pour améliorer les relations actuelles du capital et du travail et mieux solidariser leurs intérêts. Peut-on déduire de la synthèse des inconvénients signalés, d'autre part, par l'expérience une formule satisfaisante qui permette de conserver aux populations minières les avantages du système ? Le problème est particulièrement intéressant pour l'industrie des mines qui semblait offrir aux échelles mobiles deux excellentes conditions de réussite : en premier lieu de fortes agglomérations ouvrières, assez bien organisées et disciplinées ; en outre une grande importance du salaire dans les éléments du prix de revient, c'est-à-dire une raison théorique de lier le prix de vente au salaire, pour organiser à forfait la participation aux bénéfices.

Tout d'abord, est-il vrai que le système de l'échelle mobile, liant le salaire aux prix de vente, ait favorisé la baisse des cours ? Cet effet a été mis en avant par les associations ouvrières ; on peut, dans une certaine mesure expliquer leurs assertions. Soit 10 shellings le cours du charbon. Le patron garanti par le Sliding Scale traitera *plus volontiers* qu'un autre à 9 shellings pour enlever un gros marché et accroître sa production ; ce faisant, il ne supportera qu'une partie de la baisse. On dit bien que le patron a, autant que l'ouvrier, le désir des beaux bénéfices ; mais le patron joue sur une troisième donnée qui n'intéresse pas *directement* l'ouvrier ; le patron, en développant sa production, accroît son bénéfice total à la fois par une diminution du prix de revient et par une augmentation du nombre des unités vendues ; ces éléments n'influent pas sur le salaire de l'ouvrier dans le système de l'échelle mobile. Il y a, sans doute, des objections à faire à cette argumentation. Ainsi, si le marché est enlevé en période d'écoulement difficile, il arrivera qu'il serve simplement à maintenir ou à rétablir la production normale de l'ouvrier, à le garantir contre un risque de chômage. Mais il faut reconnaître que l'on se trouve, somme toute, devant une première difficulté née de la substitution arbitraire du prix de vente au bénéfice réalisé dans les formules de partage des produits de l'extraction.

Une des principales causes de mécontentement soulevées par le système est l'écart entre les prix de vente moyens et les cours et le retard forcé qu'éprouve la hausse des salaires par rapport à la hausse des cours. Les ouvriers, impatients et méfiants, voudraient voir leur salaire suivre de près l'allure des cours, au moins à la hausse, mais cela n'est pas ordinairement possible. Le patron ne peut payer le salaire qu'avec l'argent touché ou escompté de ses ventes, c'est-à-dire, en raison du prix moyen de vente de ses produits. Or, ces prix moyens sont loin de suivre les cours. D'abord, les différentes qualités de charbons, très nombreuses, sont produites et vendues en quantités variables suivant les époques. En outre, le disponible, sur lequel se cotent les cours, est généralement faible, car c'est une nécessité pour des travaux de longue prévoyance comme ceux des mines d'assurer l'écoulement d'une forte partie de la production par des contrats à longs termes. Cette seconde cause produit des différences particulièrement importantes entre les prix cotés et les prix moyens dans les périodes de hausse rapide ; d'où, durant ces périodes, un mécontentement sourd et mal défini des ouvriers. La nécessité de procéder à une vérification des prix de vente est à son tour cause du retard qu'éprouve la hausse des salaires. Ainsi, dans l'échelle de Galles, le prix applicable pour les mois de janvier et février servira de base pour la période d'avril et de mai, et ainsi de suite tous les deux mois. On comprend donc comment les ouvriers sont amenés à demander des échelles de plus en plus rapides. C'est du même sentiment d'impatience que procède le désir d'avoir des échelles de plus en plus sensibles à la hausse. Et, en fait, l'ouvrier peut, sans le secours de l'échelle mobile, obtenir des hausses plus rapides et des baisses plus lentes, au prix, il est vrai, de luttes continues.

On a proposé d'établir de doubles sauts (2β) du salaire pour une même variation (α) du prix de vente au-dessus d'une certaine limite, de diminuer en compensation à moitié de la valeur normale ($\frac{\beta}{2}$) l'échelon de salaire au-dessous d'un autre taux du prix de vente. Cette solution semblerait de nature à donner aux ouvriers des échelles plus sensibles à la hausse et à écarter les dangers qu'elles courent lorsque le charbon est à des cours extrêmes (*). Quant à la rapidité de la hausse, il semble difficile

(*) Les essais de ce genre qui ont été faits, en particulier dans le bassin

d'aller plus loin qu'on ne l'a fait dans les dernières échelles sans porter atteinte au principe même du système qui est de proportionner les variations de salaire aux variations réelles du prix moyen de vente.

La demande d'un arbitre chargé de résoudre plus rapidement les difficultés au cours de l'exécution d'une convention ne paraît pas de nature à rencontrer des objections insurmontables. Il n'en est point de même de la nomination d'un arbitre chargé de prononcer sur les conditions de renouvellement de la convention en cas de désaccord des parties.

Cette seconde demande est liée à l'idée, innée chez les ouvriers qui ont encore confiance dans le système de l'échelle mobile, qu'il existe une manière rationnelle, absolue, juste en soi, de lier le prix de vente au salaire; qu'il existe une base absolue, bonne en soi, pour l'échelle mobile, mais qu'on ne l'a pas encore trouvée.

Malheureusement il est bien certain qu'il n'y en a pas de permanente, ni même de définissable dans sa variation. En supposant juste la distribution, la répartition faite à un moment, on serait bientôt dans la nécessité de tenir compte de la variation de production, de prix de revient, de coût de la vie, etc. Mais cette répartition elle-même n'est ordinairement fondée sur rien que sur l'intensité des désirs et des forces des parties en présence.

En poussant à l'extrême les principes logiques et les sentiments d'équité qui avaient fait fonder tant d'espérances sur le système des échelles mobiles, on arrive net à la coopération de production. C'est peut-être la solution de l'avenir; de grands philosophes, qui ne sont point socialistes, l'affirment; ce n'est point certainement la solution du présent, les salariés n'y sont point prêts; et ce n'est pas, en tout cas, l'échelle mobile, mais quelque chose de très différent.

Ainsi donc, en résumé, il paraît impossible de faire disparaître entièrement les quelques inconvénients ayant, à tort ou à raison, constitué des griefs aux yeux des ouvriers contre le système de l'échelle mobile, on ne peut que les atténuer. En outre, il faut le reconnaître, l'échelle mobile ne peut être utilement qu'une convention à court terme, liant d'une manière empirique, pour cette courte durée, le prix de revient au prix de vente, par des formules

de Newcastle, ont échoué. Mais nous avons vu que les doubles échelons avaient été placés à une hauteur qui les rendait tout à fait inutiles.

arbitraires nécessairement débattues à nouveau entre les parties contractantes à chaque renouvellement du contrat.

Bien que l'on n'eût jamais eu en vue de faire un partage de bénéfices basé sur des principes absolus, il faut avouer que la réalité modeste est loin de ce qu'attendaient les enthousiastes du début, et cette disproportion fait oublier les sérieux avantages du système.

On voit d'ailleurs, par cette étude, à quel point le système de l'échelle mobile ainsi défini et limité par l'expérience se rapproche peu à peu de celui de la fixation des salaires en comité mixte de conciliation. Dans les industries où se réunit un comité mixte des salaires, l'ajustement se fait très fréquemment et la baisse des prix gouverne en somme celle des salaires d'une façon continue, mais sans qu'on ait érigé en formule des coefficients arbitraires de base et de partage. Il semble que ce soit là l'intérêt des ouvriers anglais, puisqu'ils y viennent tous. Il dépend de leur sagesse, de leur éducation, qui peut-être se fait mieux dans les comités mixtes, d'assurer à leurs patrons dans ce second système les accords fermes pour une ou deux campagnes, dont ils ont besoin pour la prospérité de leur commune industrie, et qui sont le principal avantage de l'échelle mobile.

PRODUCTION DE L'OR EN AUSTRALASIE EN 1894.

	Quantités produites.	Valeurs
Nouvelle-Galles du Sud.	10.102 ^{kg}	29.156.286 ^{fr}
Victoria.	20.954	67.922.704
Australie occidentale.	6.443	19.839.498
Australie du Sud.	1.115	3.162.176
Queensland.	21.135	59.946.767
Tasmanie.	1.800	5.105.571
Nouvelle-Zélande.	6.891	22.335.740
	68.440 ^{kg}	207.468.712 ^{fr}

N. B. — Le rapport des valeurs aux poids varie d'un État à l'autre, suivant le degré de pureté de l'or produit.

(Extrait de *The Mineral Industry*, vol. III.)

PRODUCTION DE L'OR ET DE L'ARGENT DANS LE MONDE EN 1894.

PAYS PRODUCTEURS	OR		ARGENT	
	Poids en kilogrammes	Valeurs en francs	Poids en kilogrammes	Valeurs en francs
Australie	68.440	207.468.712	562.263	58.993.145
Etats-Unis	59.824	205.963.042	1.550.387	162.670.290
Canada	1.648	5.673.452	20.202	2.119.615
Mexique	6.771	23.310.000	1.463.361	153.537.158
Amérique centrale	708	2.437.190	48.123	5.049.107
Colombie	4.353	14.984.704	52.511	5.509.500
Vénézuela	1.213	4.175.598	"	"
Guyane anglaise	4.308	12.761.432	"	"
— hollandaise	872	3.001.810	"	"
— française	2.000	6.885.256	"	"
Equateur	103	354.312	210	25.180
Pérou	112	385.392	107.670	11.296.834
Bolivie	101	347.060	684.418	71.809.760
Chili	698	2.405.592	88.680	9.304.383
Bésil	3.339	11.497.010	"	"
Uruguay	213	733.488	"	"
République argentine	143	492.100	37.334	3.917.116
Russie	41.598	143.206.280	10.117	1.061.485
Allemagne	4.133	14.172.909	444.213	47.496.543
Autriche-Hongrie	2.535	8.727.261	61.319	6.433.643
Suède	94	323.750	2.869	301.020
Norvège	"	"	4.705	493.649
Grand-Bretagne	99	340.844	7.932	832.220
France	376	1.203.200	96.935	10.665.050
Espagne	"	"	85.000	8.918.277
Italie	176	606.060	23.885	3.030.642
Grèce	"	"	35.436	3.717.976
Turquie	12	41.440	1.516	159.062
Afrique	73.585	201.899.230	"	"
Chine	9.049	31.152.520	"	"
Japon	737	2.537.164	60.869	6.386.427
Corée	703	2.420.096	"	"
Inde anglaise	6.507	19.509.180	"	"
Totaux	294.450	932.019.087	5.455.003	573.728.091

[Extrait de *The Mineral Industry*, vol. III (*).]

(*) Sauf rectification des chiffres relatifs à la France et à l'Allemagne, d'après les statistiques officielles de l'année 1894.

MÉTHODES D'ANALYSE

DES FONTES, DES FERS ET DES ACIERS (*)

Par M. Ad. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Membre de l'Institut.

Les méthodes d'analyse des fontes, des fers et des aciers ont fait de grands progrès depuis une trentaine d'années, en même temps que les méthodes de fabrication de ces produits métallurgiques. Les progrès ont porté, les uns sur le degré d'exactitude et de sûreté des résultats, les autres sur la rapidité d'exécution des essais.

Suivant les circonstances, c'est à l'une ou à l'autre de ces qualités, que l'on attache le plus de prix.

S'agit-il d'essais à faire pour guider le contremaître ou l'ouvrier dans l'élaboration du métal, une très grande célérité sera indispensable. Est-ce, au contraire, un directeur d'usine ou un ingénieur, qui demande à l'analyse les éléments d'étude pour améliorer une fabrication défectueuse ou pour obtenir avec une fonte donnée une qualité spéciale d'acier, il aura besoin que les analyses soient très sûres et très exactes, dussent-elles exiger plusieurs jours de travail. Dans les transactions commerciales, lorsque l'acheteur veut faire contrôler la composition du métal, qu'il destine à tel ou tel usage, l'exactitude et la rapidité seront, en général, presque également nécessaires.

(*) Ce rapport a été rédigé à la demande de la *Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction*.

Il convient donc que, pour la recherche des principaux éléments des métaux dont nous parlons, on s'attache à avoir des procédés d'essai les uns très précis, les autres surtout très rapides.

Il ne faut, d'ailleurs, pas demander trop à l'analyse chimique, qui doit se borner, en général à compléter les données fournies par les essais mécaniques ou physiques et non tendre à les remplacer. Son rôle est de faire connaître la nature et les proportions des éléments qui entrent dans la composition du métal; tout au plus peut-elle parvenir à déterminer leur état chimique réel, variable parfois suivant les circonstances de température et les efforts mécaniques, auxquels le métal a été soumis.

Quant aux qualités du métal, qui dépendent non seulement de sa constitution chimique, mais aussi de l'arrangement relatif des particules métalliques, de leur forme, de leur écartement, des tensions intérieures qui peuvent exister entre elles, en un mot, des différents effets physiques produits par l'action du marteau, de la presse, du laminoir, etc., ou par un refroidissement plus ou moins rapide, il convient, pour les apprécier, de recourir aux épreuves physiques et mécaniques ou bien, dans certains cas, à l'examen micrographique du métal convenablement préparé.

Avant d'exposer les différents essais chimiques à exécuter sur les échantillons de métal que l'on doit examiner, je dirai quelques mots des précautions nécessaires pour le choix et la préparation de ces échantillons.

PRISE D'ESSAI POUR L'ANALYSE.

Pour que l'échantillon analysé présente la composition moyenne de la pièce de métal, il convient d'opérer la prise d'essai sur une assez grande épaisseur ou bien de

la prélever partie à la surface, partie au centre; car il y a quelquefois des différences de composition sensibles entre ces régions. Je citerai notamment la teneur en carbone, qui est plus grande vers la surface qu'au centre dans les fontes grises rapidement refroidies et moindre dans les fers.

Lorsqu'on se sert d'un foret, il est bon de percer la pièce du métal dans toute son épaisseur et de faire des tournures fines et égales, pour que leur mélange représente aussi bien que possible la composition générale de la pièce.

Les fontes dures et cassantes (*fontes blanches, spiegel, etc.*) peuvent être réduites en fragments au moyen du marteau et de l'enclume et pulvérisées dans un mortier d'acier, dont la surface intérieure a été durcie par la trempe; le pilon est de même durci à l'extrémité seulement.

La *fonte grise* ne se laisse pas pulvériser par le choc, mais peut être préparée, en poudre fine, au moyen d'une lime dure. La lime convient aussi fort bien pour les *fers malléables* et pour les *aciers doux*. On peut lui substituer avec avantage, au point de vue de la rapidité de l'opération, une machine à percer ou à raboter, à la condition d'aller lentement, pour ne pas trop échauffer l'instrument, et d'employer un foret ou un ciseau à arête mousse, surtout si le métal est un peu dur.

Les *aciers trempés* sont très difficiles à attaquer soit par la lime, soit par le foret; on peut les adoucir en les portant au rouge, mais à la condition d'éviter le contact de l'air qui pourrait diminuer leur teneur en carbone; on y réussit en chauffant la pièce dans un creuset de porcelaine placé dans un creuset de terre avec fragments de charbon dans l'intervalle. Mais il ne faut pas oublier que cette opération modifie l'état chimique du carbone.

Si l'on a affaire à des aciers *non trempés* ou *recuits*, on peut obtenir de la poudre ou des copeaux minces à

l'aide d'une lime ou d'un foret mousse en acier très dur, tel que l'acier au chrome ou au tungstène.

Lorsque la lime est neuve et recouverte de graisse, il faut avoir soin de la nettoyer parfaitement avec de l'éther et de rejeter les premières limailles obtenues, qui pourraient retenir un peu de matière carburée. Les machines à percer ou à raboter sont aussi presque toujours enduites de matières grasses; il faut préserver de leur contact les copeaux de métal en les recevant directement sur une feuille de papier.

Si l'on n'est pas assuré de l'absence de toute matière grasse, il convient de laver le métal avec de l'éther. Cette précaution peut être prise dans tous les cas.

ESSAIS CHIMIQUES.

Parmi les éléments que l'on peut rechercher dans les aciers, les fers ou les fontes, il en est qui s'y rencontrent d'une manière à peu près constante, comme le *carbone*, le *silicium*, le *phosphore*, le *soufre*, en sorte qu'il est pour ainsi dire inutile de faire aucune opération préliminaire qualitative et que l'on peut procéder directement à l'opération, qui permettra d'en apprécier la proportion, c'est-à-dire au dosage.

Le *manganèse* s'y trouve très souvent; le *cuiivre*, le *cobalt*, le *nickel*, le *titane*, l'*arsenic*, le *vanadium* beaucoup plus rarement; le *chrome* et le *tungstène* ne se rencontrent, sauf de rares exceptions, que dans des produits où ils ont été introduits à dessein. Il en est de même, le plus souvent, de l'*aluminium*; cependant ce métal peut aussi exister en petite proportion dans les aciers obtenus à très haute température sur des soles alumineuses. D'autres métaux terreux, alcalino-terreux ou alcalins pourraient aussi se rencontrer en très petites

quantités dans les fontes ou les aciers; mais leur présence, très rarement vérifiée, ne semble pas avoir une influence notable sur la qualité du métal. Il en est de même des gaz, dont on a constaté l'existence, mais dont le rôle n'est pas encore défini.

Sans m'arrêter aux essais qualitatifs, dont on se dispense souvent, surtout lorsque l'on connaît l'origine et le mode de fabrication des produits, j'aborderai aussitôt la question des essais quantitatifs nécessaires pour déterminer la proportion de chacun des éléments.

Un grand nombre de méthodes différentes ont été proposées, depuis qu'on s'applique à perfectionner l'analyse des produits métallurgiques; les divers laboratoires se servent de procédés variés, qui, souvent, conduisent à des résultats divergents. Je laisserai de côté les méthodes incertaines ou d'une exécution trop difficile et je m'attacherai spécialement à celles qui me semblent être le plus exactes et le plus facilement applicables dans tous les laboratoires; cependant, à côté de méthodes analytiques précises, mais plus ou moins longues ou délicates, je crois devoir exposer aussi les procédés rapides et simples, s'il en existe, qui peuvent conduire à des résultats suffisamment approchés.

DOSAGE DU CARBONE.

On n'avait guère distingué, jusqu'à ces derniers temps, dans les analyses de fontes et d'aciers, que deux formes différentes de carbone: le *carbone libre* ou *graphite*, qui reste isolé, lorsqu'on dissout le fer par l'acide chlorhydrique, et le *carbone combiné*, qui se transforme pendant cette attaque en carbures d'hydrogène: le premier existant surtout dans les fontes grises, le second dominant dans les fontes blanches.

Les idées se sont modifiées depuis peu, à la suite des remarquables études faites en Angleterre par Sorby et Abel, en Allemagne par Martens, Wedding, Müller et Ledebur, en France par Forquignon, Osmond et Werth, sur la microstructure des fers carburés et leur constitution physique et chimique.

Les recherches de **métallographie microscopique** ont conduit à reconnaître, dans les différentes variétés d'aciers, cinq constituants distincts, qui, d'après Osmond (*), peuvent être définis de la manière suivante :

1° La *Ferrite*, qui est du fer sensiblement pur;

2° La *Cémentite*, qui est du carbure de fer dur répondant à la formule probable Fe^3C ; elle forme, dans les aciers de cémentation, des lamelles de grandes dimensions relatives, faciles à isoler;

3° La *Sorbite*, où le carbone paraît être à l'état de carbone de trempe et qui, ordinairement entremêlée avec la cémentite, forme avec elle un mélange désigné sous le nom de *Perlite*;

4° La *Martensite*, constituant principal des aciers trempés, formée de cristallites de fer tenant le carbone de trempe en dissolution;

5° La *Troostite*, qui accompagne et borde habituellement la martensite dans les aciers trempés.

Les **essais chimiques par les acides** fournissent des indications d'un autre genre, dont la correspondance avec les précédentes n'est pas encore parfaitement établie. Ils permettent de distinguer quatre états différents du carbone : le *graphite*, le *carbone graphitique de recuit*, le *carbone du carbure normal* et le *carbone de trempe*.

(*) Communication du 23 novembre 1894, à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale; *Annales des mines*, août 1895, p. 153.

Les travaux d'Abel, Müller, Ledebur, Forquignon, Osmond et Werth, ont permis d'établir assez nettement la distinction de ces variétés, à la fois d'après leur origine et d'après leurs caractères chimiques (*).

1° GRAPHITE. — Le *graphite* proprement dit ne se trouve que dans les fontes grises et truitées; il s'y forme sous l'action du silicium, lorsque le métal passe de l'état fondu à l'état solide. La solubilité du carbone décroissant avec la température, il se sépare et cristallise, si le refroidissement n'est pas trop rapide.

Le graphite reste insoluble, en paillettes cristallines, quand on attaque la fonte par l'acide chlorhydrique, même à l'ébullition.

2° CARBONE GRAPHITIQUE DE RECUIT (*graphite invisible* de Forquignon, *graphitische Temperkohle* de Ledebur). Cette forme spéciale du carbone se rapproche de la précédente par ses propriétés chimiques, mais elle se produit dans des conditions différentes; elle résulte de la transformation du carbone combiné, lorsque le métal, sans cesser d'être à l'état solide, est soumis à une température suffisamment élevée et soutenue. Ces circonstances se présentent notamment dans le recuit des pièces de moulage, dans la fabrication de la fonte malléable; mais du carbone graphitique peut aussi se trouver dans les pièces d'acier dur, qui ont été simplement refroidies avec lenteur.

Le carbone graphitique de recuit reste, comme le graphite, inattaquable par l'acide chlorhydrique concentré et bouillant; mais il s'en distingue par son aspect amorphe, noir foncé et terne, tandis que le graphite est feuilleté et d'éclat métalloïde. Il s'en distingue aussi par

(*) Nous empruntons une bonne part de cet exposé au remarquable travail de Ledebur : *Stahl und Eisen*, 1888-1891; traduction par Osmond, *Bull. de la Société d'encouragement*, septembre 1893.

l'action qu'il éprouve de l'oxygène et de l'hydrogène à une température élevée; car, d'après les expériences de Forquignon (*), il disparaît à la longue, lorsque le métal est chauffé au contact d'oxyde de fer ou d'autres oxydants et paraît se transformer en carbure volatil dans un courant d'hydrogène sec au rouge (*), tandis que le graphite reste complètement inaltéré dans les mêmes conditions.

3° CARBONE DU CARBURE OU CARBONE DE LA CÉMENTITE (*carbone de recuit* d'Osmond, *gewöhnliche Carbidkohle* de Ledebur).

Cette forme de carbone combiné se rencontre dans presque tous les fers carburés; elle se distingue très nettement des deux précédentes, parce qu'elle donne lieu à la formation de carbures d'hydrogène, lorsqu'on dissout le métal par l'acide chlorhydrique concentré, surtout à chaud. Si l'on se sert, au contraire, d'acide chlorhydrique ou sulfurique très étendu et froid, on arrive à dissoudre le fer et à laisser le carbure de fer sous forme de petits grains, de forme irrégulière, d'aspect argenté ou nacré (Sorby), qui est un composé défini, avec proportions à peu près constantes de carbone et de fer (1 p. en poids du premier pour 14 p. du second); les recherches d'Abel et de Müller, faites par des méthodes différentes, conduisent sensiblement à la formule Fe^3C .

Ce carbure se sépare, avec dégagement de chaleur, entre 700 et 600°, pendant le refroidissement lent de la masse métallique (Osmond); il se décompose, au contraire, avec absorption de chaleur, pendant le chauffage, entre les mêmes limites de température.

Lorsqu'on dissout le fer par l'acide sulfurique très étendu (20 centimètres cubes d'acide à 1/10 pour 1 gramme de métal) à froid et à l'abri de l'air, on laisse le carbure

(*) *Ann. de phys. et de ch.*, 5^e série, t. XXIII.

inattaqué et on peut, au bout de plusieurs jours, l'isoler par filtration sur l'amiante, le laver et l'analyser (Müller).

Si l'on traite à froid par l'acide nitrique ($d = 1,20$) le métal qui contient ce carbure, il se forme des flocons bruns qui se séparent du liquide; mais si l'on vient à chauffer, ces flocons se dissolvent sans dégagement de gaz, en donnant une liqueur brune assez stable (Osmond et Werth) (*).

4° CARBONE DE TREMPÉ (*Härtungskohle*, *hardening carbon*). Cette forme de carbone, qui existe en quantité plus ou moins sensible dans tous les fers carburés, se rencontre en proportion dominante dans l'acier trempé, qui lui doit sa dureté. La proportion en est d'autant plus grande, pour un même acier, que le refroidissement a été plus rapide; mais elle varie aussi, dans le cas d'un refroidissement lent, avec la teneur en carbone total et dans le même sens; il en existe à peine dans le fer doux; mais on en trouve des quantités notables dans l'acier dur et dans la fonte blanche, même lorsqu'ils n'ont été soumis à aucun refroidissement rapide, comme celui qui produit la trempe.

Lorsqu'on attaque le métal par l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique très étendu, à la température ordinaire, comme dans la méthode de Müller, le carbone de trempe est transformé en carbures d'hydrogène gazeux, très odorants, tandis que le carbure normal reste inattaqué.

La distinction peut aussi se faire par l'action de l'acide azotique ($d = 1,20$); car cet acide, en dissolvant le métal à la température ordinaire, donne d'abord un liquide presque incolore avec un dépôt noir; mais celui-ci disparaît en quelques minutes, au repos, et très rapidement, si l'on agite, en colorant la liqueur en brun. Lorsqu'on

(*) *Ann. des mines*, 1883, t. VIII.

chauffe, la teinte diminue, en même temps qu'il y a dégagement de gaz (Osmond et Werth).

Je pense qu'il sera possible de mettre à profit les observations de Müller et celles d'Osmond et Werth pour le dosage quantitatif des deux variétés de carbone; mais les expériences que j'ai tentées à ce sujet n'ont pas encore donné des résultats assez sûrs, pour que je croie pouvoir indiquer ici la méthode suivie.

Au point de vue qualitatif, on peut procéder de la manière suivante à la recherche des quatre variétés de carbone :

1° Traiter 2 grammes du métal à examiner par 25 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ($d = 1,12$), chauffer à l'ébullition, puis recevoir et laver sur un petit filtre d'amiante.

Le *graphite*, s'il y en a, apparaît sous forme de paillettes caractéristiques; le *carbone graphitique de recuit* forme un résidu noir amorphe, terne, visible à l'œil ou à la loupe et assez facile à distinguer du graphite cristallin. De petites quantités non discernables à l'œil, se reconnaissent encore à l'acide carbonique produit par la combustion du résidu.

2° Attaquer à froid, dans une petite fiole entourée d'eau, 2 grammes du métal par 25 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,20$), terminer en agitant, puis laisser reposer.

Le *carbone de trempe* se révèle par une coloration brune plus ou moins sensible de la liqueur devenue limpide; le *carbone du carbure* forme un dépôt brun reconnaissable; mais à ce dépôt peuvent être mêlés des grains ou des paillettes noires de graphite ou de carbone graphitique.

Si l'on chauffe pendant quelques minutes, le *carbone du carbure* se dissout en colorant la liqueur en brun. Après repos, on peut alors reconnaître la présence du

graphite et du *carbone graphitique de recuit*, restés insolubles au fond de la fiole.

Je vais maintenant exposer les différentes méthodes qui permettent de déterminer le *carbone total* et les opérations par lesquelles on fixe les proportions du *graphite* et du *carbone amorphe*, en désignant sous le premier nom tout le carbone qui reste insoluble sous les actions successives de l'acide chlorhydrique et de l'acide azotique et sous le second le carbone qui disparaît sous l'action de ces deux acides.

CARBONE TOTAL.

On peut opérer le dosage du carbone total soit par les méthodes de voie sèche, soit par les méthodes de voie humide. Les unes et les autres sont susceptibles d'une grande précision.

I. — Méthodes de voie sèche.

Les fers, les fontes et la plupart des aciers peuvent être oxydés entièrement dans un courant d'oxygène au rouge vif; l'acide carbonique produit est alors recueilli dans une solution de potasse ou dans une solution de baryte. — Certains aciers et surtout les produits riches en chrome, en tungstène, en titane, résistent très longtemps à l'action de l'oxygène, mais peuvent être attaqués par du bisulfate de potasse. — De là deux procédés différents à adopter suivant la nature de l'acier.

A. — Oxydation par l'oxygène au rouge.

L'appareil est disposé à peu près comme celui qui est employé pour les analyses organiques et spécialement pour l'analyse des combustibles minéraux, sauf les diffé-

rences qui résultent de ce qu'on ne s'occupe pas du dosage de l'hydrogène, mais exclusivement du dosage du carbone.

Il importe au plus haut degré que le métal à analyser ait été réduit en poudre extrêmement fine et pour ainsi dire impalpable, soit qu'on l'ait obtenue en broyant dans le mortier d'acier et passant au tamis fin de tôle, soit qu'on l'ait préparée au moyen d'une lime en acier fortement trempé.

Après avoir pesé 1 ou 2 grammes de la poudre, suivant la nature de la matière, on la verse dans une nacelle en platine assez longue pour qu'elle y forme une couche de faible épaisseur. La nacelle est déposée dans un tube de porcelaine de 20 millimètres environ de diamètre et 65 à 70 centimètres de longueur. On facilite l'oxydation en obligeant le courant de gaz oxygène à s'infléchir vers le fond de la nacelle et adoptant, à cet effet, la disposition suivante, indiquée par Blair (*Chemical News*, vol. LXIV, p. 66).

La nacelle est recouverte par une feuille de platine ayant à peu près même longueur et même largeur, sur laquelle on a pratiqué à l'avance, de distance en distance, des fentes demi-circulaires et formé ainsi de petites ailettes de métal, qu'on soulève sous un angle de 40 à 45 degrés et qu'on dirige vers le côté d'où doit venir le courant gazeux (Pl. X, *fig. 1*).

Le tube de porcelaine est disposé sur une gouttière en fer dans un fourneau à gaz ou, à défaut de gaz, dans un fourneau à charbon de bois, de telle sorte qu'on puisse chauffer le tube et son contenu jusqu'au rouge clair (*fig. 2*).

A la suite de la nacelle, on place un tampon d'amiante calciné à peu près aux trois cinquièmes ou aux deux tiers de la longueur du tube, puis une colonne d'oxyde de cuivre en gros grains, mêlé de tournure de cuivre oxydée, dans le but de peroxyder au rouge les traces d'oxyde de

carbone qui auraient pu se former. La colonne d'oxyde de cuivre est maintenue par un second tampon d'amiante calciné, placé à quelques centimètres de l'extrémité du tube. Celui-ci doit être parfaitement fermé par des bouchons de liège fin ou de caoutchouc, assez éloignés du fourneau, pour ne pas risquer de s'échauffer et de donner des produits carbonés gazeux, et traversés par des tubes de verre, qui les relie, d'une part aux vases servant à la conduite et à la purification de l'oxygène, de l'autre aux flacons destinés à retenir l'acide carbonique.

L'oxygène est fourni par un gazomètre ou par un récipient à gaz comprimé. On trouve aujourd'hui dans le commerce des cylindres à parois métalliques très résistantes renfermant le gaz comprimé à différentes pressions, notamment à 40 atmosphères. On peut les relier directement à l'appareil, en ouvrant d'avance et avec beaucoup de précaution le robinet et faisant arriver le gaz dans l'eau pour s'assurer que le courant est assez lent. On peut aussi faire passer le gaz du cylindre dans de petits récipients en cuivre, disposés à la façon des gazomètres des usines et donnant, au moyen de poids mobiles, une pression régulière au gaz.

On peut craindre que le gaz oxygène fourni par le commerce renferme quelques vapeurs carburées provenant des pompes à compression. Il est donc prudent de faire passer le gaz, au sortir du récipient, dans un tube de porcelaine réfractaire de 0^m,50 de long et 0^m,015 de diamètre, contenant de l'oxyde de cuivre granulé sur 0^m,20 ou 0^m,25 de sa longueur (Pl. X, *fig. 3*). (On peut remplacer ce tube par un tube de platine d'un demi-millimètre de diamètre, comme celui de Särnström, voir p. 390). Ce tube est chauffé au rouge sur un petit fourneau à gaz très simple, tel que le fourneau de Fletcher, de 0^m,30, dont on ne chauffe pas les deux extrémités; en outre, on fait sortir le tube de 0^m,10 à 0^m,12, afin d'éviter l'échauffement

des bouchons de caoutchouc placés aux extrémités. Un tube à boules (A) rempli d'une solution de potasse caustique, placé à la suite du tube de porcelaine, débarrasse l'oxygène de l'acide carbonique qui pouvait être primitivement contenu dans le gaz et de celui qui pourrait provenir de la combustion des vapeurs carburées. Cet appareil de purification a été fort justement recommandé par Dudley et Pease, sous le nom de *fourneau de chauffe préalable* (*preheating furnace*).

Après avoir traversé la solution alcaline, le gaz achève de se purifier en passant successivement (Pl. X, fig. 2) dans un tube à ponce sèche (B), un tube à fragments de potasse (C) et un tube en U à chlorure de calcium (D). L'oxyde de cuivre doit avoir été, de son côté, purifié par une calcination dans l'hydrogène au rouge vif pendant une demi-heure et par une seconde calcination dans un courant d'oxygène jusqu'à réoxydation complète.

À la suite du tube à combustion, on place un petit tube en U, contenant de la ponce imprégnée d'une solution saturée d'acide chromique (E), afin d'oxyder et d'arrêter les traces d'acide sulfureux, qui pourraient s'être produites par la combustion de sulfures. Vient ensuite un tube (F) à chlorure de calcium desséché et non fondu, pour retenir l'humidité du courant, sans agir sur l'acide carbonique; dans la crainte qu'il renferme un peu de chaux caustique, il faut avoir la précaution de le soumettre à l'avance pendant quelque temps à un courant d'acide carbonique et ensuite de chasser entièrement ce gaz par un courant d'air sec.

On peut remplacer la ponce chromique par un peu de bioxyde de plomb placé entre deux tampons de coton dans la courbure du tube en U, dont les deux branches sont remplies de chlorure de calcium. L'appareil est ainsi un peu plus simple et l'acide sulfureux est également bien retenu.

On termine par l'une des dispositions ci-après (α) ou (β): (α). — On place à la suite un tube à boules contenant une solution de potasse à 20 p. 100, et enfin un tube à chlorure de calcium, préparé comme le précédent, pour retenir l'humidité empruntée par le gaz à la solution de potasse. Le meilleur tube à boules, pour l'absorption complète de l'acide carbonique, paraît être celui de Schlœsing, à serpentín presque horizontal, où le gaz reste en contact avec la solution sur un long parcours, avec les perfectionnements de détail apportés par Mahler (extrémité évasée, pieds et bouchons en verre donnant plus de facilité pour l'assemblage, la pose et le remplissage). Le petit tube à serpentín hélicoïdal de Maquenne est également très bon, surtout lorsqu'il y a peu d'acide carbonique à retenir et à peser.

Après avoir préparé et réuni entre elles les différentes parties de l'appareil, on en chasse l'air par l'oxygène, puis on s'assure qu'il tient parfaitement le gaz sous une pression au moins égale à celle que l'on se propose d'employer, sans recourir à un aspirateur.

On commence par porter au rouge, sur 0^m,15 environ de longueur, le tube de porcelaine avec oxyde de cuivre du fourneau à surchauffer; pendant ce temps, on pèse ensemble les deux derniers tubes (G) à potasse et (H) à chlorure de calcium, soit remplis d'air, soit remplis d'oxygène; puis on les remet en place et on règle le courant gazeux, de manière à dégager d'abord 30 et plus tard 60 bulles de gaz environ par minute à travers la première solution de potasse.

On chauffe alors graduellement jusqu'au rouge la partie du tube qui contient l'oxyde de cuivre et, lentement, on fait avancer le feu jusqu'à la nacelle, qu'on maintient au rouge pendant deux ou trois heures; il ne faut pas aller trop vite, pour ne pas risquer d'agglomérer la poudre métallique au début.

Lorsqu'on suppose que l'oxydation est terminée, on éteint le feu et, en même temps, on ralentit le courant gazeux, qu'on arrête tout à fait pour peser les deux tubes à potasse et à chlorure de calcium remplis soit d'air, soit d'oxygène, dans les mêmes conditions qu'au début de l'opération. On préfère avoir les tubes pleins d'air; mais on les laisse remplis d'oxygène, lorsque les opérations doivent se succéder rapidement, sans intervalle, afin d'éviter les pertes de temps.

Le poids du carbone se déduit de celui de l'acide carbonique retenu par la potasse, en multipliant l'augmentation de poids par le coefficient $\frac{C}{CO_2} = 0,27273$.

Lorsqu'on ignore si le métal est plus ou moins facilement oxydable, il est prudent de remettre les tubes en place et de recommencer à chauffer dans le courant d'oxygène pendant une heure encore, à une température au moins égale à celle que l'on a atteinte la première fois et de vérifier ensuite si le poids des tubes n'a pas varié.

On peut ensuite, en traitant le métal oxydé par de l'acide chlorhydrique étendu, s'assurer s'il ne reste pas de fer non transformé, qui donnerait lieu à un dégagement de bulles gazeuses odorantes.

Cette simple opération de voie sèche, qui ne donne pas beaucoup de peine en dehors du premier montage de l'appareil, si l'on dispose du gaz pour le chauffage et de l'oxygène pour la combustion, fournit des résultats très sûrs, lorsque le métal à analyser n'est pas de nature résistante à l'oxydation et peut être réduit en poudre suffisamment fine.

(β). — Si l'on craint que l'augmentation de poids soit trop faible et ne donne qu'un dosage incertain de l'acide carbonique et, par conséquent, du carbone, on peut remplacer la solution de potasse caustique (G), par une

solution saturée d'hydrate de baryte, dans laquelle on a fait dissoudre 20 p. 100 de potasse, qu'on a ensuite filtrée et conservée à l'abri de l'air. Le contenu du tube à absorption (dont l'augmentation de poids pourrait d'ailleurs être déterminée comme dans le cas précédent, pour servir de contrôle), est versé, ainsi que l'eau employée au lavage de ce tube, dans un demi-litre d'eau distillée bouillante; on y ajoute une solution de chlorure de baryum à 20 p. 100 en léger excès; le carbonate de baryte produit se laisse facilement filtrer et laver à l'eau bouillante. On le redissout par l'eau acidulée d'acide chlorhydrique et on précipite la baryte à l'état de sulfate, qu'on filtre, lave, calcine et pèse. Le poids du sulfate de baryte sert à calculer celui du carbone en multipliant par le coefficient :

$\frac{C}{BaO.SO_3} = 0,05150$. Le dosage est assurément plus long de cette manière; mais il peut aussi être plus précis, le coefficient étant plus de cinq fois moindre que le précédent. Dans le cas de potasse décarbonatée par la baryte, le tube Schlœsing ne conviendrait pas, à cause de l'obstruction possible du serpentín par le carbonate alcalino-terreux précipité; on emploiera alors un tube à boules, comme celui de Pélígot ou comme celui (β) qui est représenté dans la *fig. 4*.

Le mode de dosage qui précède est une modification des méthodes employées successivement par *Berzélius*, *V. Regnault*, *H. Rose*, *Rivot* et *Wöhler*.

Nous ne décrivons pas la méthode fondée sur l'emploi d'un courant de chlore sec au rouge faible et la volatilisation de tous les éléments autres que le carbone (*Berzélius*, *Wöhler*); elle peut donner de bons résultats pour l'analyse des fontes, mais son emploi expose à des pertes notables, pour peu que le courant gazeux retienne d'humidité.

B. — *Oxydation par le bisulfate de potasse au rouge.*

Les aciers spéciaux au chrome, au tungstène, au titane, et, en particulier, les produits riches en métal étranger, que l'on connaît sous les noms de *ferrochromes*, *ferrotitanes*, *ferrotungstènes*, ne s'oxydent qu'imparfaitement par l'oxygène au rouge; ils sont d'ailleurs, ainsi que certaines fontes, incomplètement attaquables par voie humide. Ces produits, dont la teneur en carbone est généralement élevée, se prêtent à l'emploi de la méthode du bisulfate de potasse, à la condition que le métal soit en poudre très fine. L'oxydation se fait aux dépens de l'acide sulfurique anhydre, qui se transforme en acide sulfureux, tandis que le carbone passe à l'état d'acide carbonique. La peroxydation du carbone est d'ailleurs assurée par un courant d'oxygène et par de l'oxyde de cuivre.

On opère sur 1 ou 2 grammes de métal réduit en poussière très fine, qu'on mélange intimement avec un poids trente fois ou au moins vingt fois égal de bisulfate de potasse préalablement fondu et pulvérisé. Le mélange est placé dans une nacelle de platine de capacité suffisante, ayant, par exemple, 15 centimètres de longueur sur 20 et 25 millimètres de hauteur et de largeur, qu'on introduit dans un tube de porcelaine de 55 centimètres de long et 30 millimètres de diamètre, placé sur un fourneau à gaz de 35 centimètres de long, à sept brûleurs (Pl. X, *fig.* 4).

Au delà de la nacelle se trouve une colonne d'oxyde de cuivre, maintenue entre deux tampons d'amiante. Le tube doit sortir assez du fourneau pour qu'il n'y ait pas à craindre une altération des bouchons de caoutchouc; on peut éviter tout danger en entourant les deux parties extérieures du tube de réfrigérants à courant d'eau.

Un gazomètre ou un cylindre à fortes parois fournit un courant lent d'oxygène, qu'on fait passer d'abord dans un fourneau de chauffe, s'il y a lieu, puis dans deux flacons à boules (système Schläesing-Mahler) contenant: le premier une solution de potasse, le second de l'acide sulfurique concentré. L'oxygène purifié traverse le tube à combustion (AB). Le courant gazeux trouve ensuite un petit flacon (C) renfermant une solution sulfurique d'acide chromique à 15 p. 100, destinée à peroxyder l'acide sulfureux et à le retenir, puis un flacon vide (D) servant à condenser la vapeur d'eau, enfin un tube en U à ponce imprégnée d'acide chromique concentré (E) pour compléter l'oxydation. Il passe alors dans un flacon et un tube à ponce sulfurique (F, G), où il se dessèche entièrement, et finalement dans l'appareil absorbant pour acide carbonique (α), constitué par un tube à absorption (Schläesing-Mahler ou Maquenne), rempli de potasse à 20 p. 100 (H), et par un tube en U effilé (K), garni de chaux sodée dans la première branche et de ponce sulfurique dans la seconde. Cet appareil, pesé avant et après l'opération, fait connaître le poids de l'acide carbonique formé et, par conséquent, celui du carbone.

On peut remplacer ce dispositif par le suivant (β), si l'on veut calculer le carbone d'après le poids du sulfate de baryte correspondant, comme nous l'avons dit plus haut: au sortir du tube à combustion le courant gazeux passe dans une petite fiole contenant une solution sulfurique d'acide chromique, puis dans un tube réfrigérant et dans un tube en U à ponce chromique; enfin de là dans un tube absorbeur à neuf ou dix boules formant colonne verticale ou, de préférence, inclinée, que l'on met en communication avec un aspirateur, afin de diminuer la pression du gaz à l'intérieur de l'appareil. Le tube est rempli d'une solution de potasse pure mêlée à une solution de baryte. On détermine, comme dans le premier cas, la pro-

duction du carbonate de baryte et ensuite la transformation en sulfate de baryte, que l'on pèse.

Pour une opération, l'appareil étant monté, on chauffe progressivement jusqu'au rouge l'extrémité du tube de porcelaine, qui contient l'oxyde de cuivre, et peu à peu la partie antérieure avec la nacelle, qu'on maintient au-dessous du rouge sombre pendant deux heures, tandis que le courant d'oxygène passe bulle à bulle. Le carbone étant alors presque entièrement oxydé, on achève la combustion en portant la nacelle au rouge sombre pendant une demi-heure, et activant un peu le courant de gaz. Pour dégager tout l'acide carbonique que pourrait retenir en dissolution la liqueur sulfurique et chromique, on approche un bec Bunsen, de manière à la porter à ébullition pendant quelques minutes; la vapeur d'eau est retenue dans les flacons qui suivent, l'acide carbonique est entraîné jusqu'au tube à potasse, où il s'absorbe (Méthode suivie à Unieux et dans d'autres usines de la Loire).

II. — Méthodes de voie humide.

Les méthodes de dosage du carbone par voie humide sont toutes fondées sur la dissolution complète du métal; le carbone peut être recueilli et ensuite pesé directement ou transformé en acide carbonique; il peut aussi être directement converti en acide carbonique pendant l'opération même de la dissolution.

On a proposé dans ce sens un très grand nombre de procédés; nous nous bornerons à rappeler qu'on a employé, pour la dissolution du métal, l'eau de chlore, le brome (Rivot), l'iode, le bichlorure de cuivre (Berzélius), le sulfate de cuivre avec chlorure de sodium, le chlorure double de cuivre et d'ammonium ou celui de cuivre et de potassium, le bichlorure de mercure (Boussingault), enfin un faible courant électrique (Weyl).

Le dosage du carbone dans le résidu s'obtient ensuite: soit par combustion dans l'air ou dans l'oxygène, d'après la perte de poids (Rivot, Boussingault) ou d'après le poids de l'acide carbonique, — soit par oxydation au moyen de l'acide sulfurique et du bichromate de potasse ou au moyen de l'acide chromique (Rogers, Brunner, Ullgren) et détermination de l'acide carbonique.

On s'efforce aujourd'hui de simplifier le dosage en réunissant en une seule les deux opérations de dissolution du métal et d'oxydation du carbone par voie humide (Jüptner, Gmelin). On peut espérer réaliser de cette façon deux avantages à la fois: plus de rapidité dans le dosage et aussi plus d'exactitude, parce que l'on évite ainsi les pertes qui peuvent se produire, quand on cherche à isoler le carbone à l'état de résidu insoluble ou quand on cherche à le rassembler sur un filtre.

Enfin le dosage par pesée peut être remplacé par le dosage en volume de l'acide carbonique.

Nous allons décrire les méthodes qui nous paraissent les meilleures: la méthode au bichlorure de mercure, — la méthode au chlorure double de cuivre et de potassium, suivie de l'oxydation par l'acide chromique, — la méthode d'attaque directe par l'acide sulfurique et l'acide chromique avec détermination de l'acide carbonique en poids ou en volume.

A. — *Emploi du bichlorure de mercure.*

Cette méthode a été créée par Boussingault et magistralement décrite dans les *Annales de chimie et de physique*, 1870. Je me bornerai à la résumer brièvement (Pl. X, fig. 5).

On opère sur 2 grammes de métal aussi finement pulvérisé que possible, placés dans un mortier de verre en présence de 35 grammes de bichlorure de mercure, on fait

avec de l'eau une bouillie claire que l'on broie pendant une demi-heure à l'aide du pilon. L'ensemble est ensuite versé, en s'aidant de la fiole à jet, dans un petit flacon de verre pour être chauffé à l'ébullition une demi-heure encore, puis on ajoute quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique et l'on maintient à 100° pendant dix minutes. On filtre sur amiante, on lave à l'eau chaude, on dessèche à l'étuve et on place dans une nacelle en platine, que l'on porte progressivement au rouge sombre dans un courant d'hydrogène pur et sec, ce qui a pour effet d'éliminer par distillation la masse du sel mercuriel mêlé au carbone.

L'hydrogène aura dû être purifié et privé d'oxygène et d'humidité par un passage à travers une solution d'acétate de plomb (D), puis dans l'acide sulfurique concentré (E), sur de la mousse de platine chauffée (F) et finalement sur de la ponce sulfurique (G), du chlorure de calcium (H) et de la potasse (J).

Lorsque la volatilisation du chlorure de mercure est terminée, on laisse refroidir dans l'hydrogène et on pèse la nacelle et son contenu, que l'on place ensuite dans la flamme d'un bec Bunsen ou dans un four à moufle chauffé à 500°. La perte de poids, constatée après nouvelle chauffe dans le courant d'hydrogène, fournit approximativement le carbone combiné, qui se brûle aisément dans l'air à température peu élevée. Le graphite est brûlé à son tour, soit par une calcination énergique longtemps maintenue au contact de l'air, soit dans un four à moufle chauffé au rouge, soit enfin et plus rapidement dans un courant d'oxygène. Après une troisième et dernière action de l'hydrogène destinée à réduire le fer accidentellement retenu par le carbone, on constate la nouvelle perte de poids subie par la nacelle et on l'attribue au graphite.

Nous ferons observer que la calcination dans l'hydrogène du résidu de la dissolution du métal, composé de carbone, hydrogène et oxygène, peut donner lieu à une

légère perte du carbone, qui n'est pas exactement compensée par le poids de l'hydrogène qui est retenu avec persistance (Schützenberger, Bourgeois, Zaboudsky); mais, en réalité, l'erreur paraît être faible dans presque tous les cas.

Le procédé permet de distinguer, avec quelque approximation, le carbone qui était combiné et celui qui était à l'état de graphite, — le premier se brûlant aisément dans l'air, à la façon de l'amadou, dans la nacelle chauffée simplement sur un bec de gaz, — le second ne disparaissant assez vite que dans un courant d'oxygène au rouge. Cette évaluation, même en n'étant qu'approximative, n'est pas sans intérêt.

B. — *Emploi du bichlorure de cuivre.*

Au bichlorure de cuivre neutre, réactif indiqué par Berzélius pour la dissolution du fer et l'isolement du carbone, on a substitué des mélanges de sulfate ou de chlorure de cuivre et de chlorure alcalin ou ammoniacal, qui agissent beaucoup plus vite. Le chlorure double de cuivre et d'ammonium (Pearse, Mac-Creath) a été très employé; mais Dudley a récemment prouvé que le chlorure double de cuivre et d'ammonium contient des matières organiques qui s'ajoutent au résidu charbonneux provenant de l'attaque du métal par ce dissolvant. Les matières organiques sont en moindre quantité, lorsqu'on prépare le réactif par cristallisations répétées; mais on n'est jamais certain qu'elles soient négligeables. Les résultats sont bien plus sûrs et l'opération est aussi rapide avec le bichlorure de cuivre et le chlorure de potassium. Les expériences de Dudley ont été confirmées par A. Blair (*Chemical News*, vol. LXIV). Ce chimiste a, de plus, reconnu qu'il y a avantage à rendre la liqueur fortement acide, non seulement pour faciliter l'attaque de l'acier,

mais aussi pour mieux précipiter la matière carbonneuse, qui, en l'absence d'un excès d'acide, semble se dissoudre dans les sels alcalins. Les essais faits avec excès d'acide ont donné des teneurs plus élevées en carbone que ceux faits avec des solutions neutres ou presque neutres.

On prend, pour l'essai, de 1 à 2 grammes de fonte, de 2 à 5 grammes d'acier ou de fer, à l'état de sable ou de copeaux assez fins, que l'on verse dans un verre de Bohême avec la dissolution du sel de cuivre; celle-ci doit contenir, pour chaque gramme de métal, environ 5 grammes de bichlorure de cuivre et par conséquent 12 grammes de chlorure double de cuivre et de potassium cristallisé ($\text{Cu K}^2\text{Cl}^4 \cdot 2 \text{H}^2\text{O}$) avec 40 centimètres cubes d'eau distillée et 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique.

On remue continuellement ou très fréquemment avec une baguette de verre et on voit peu à peu le métal s'attaquer, en donnant lieu d'abord à un dépôt de cuivre, qui se dissout lui-même ensuite dans la liqueur contenant le sel double. L'attaque est souvent terminée dans l'espace de vingt à trente minutes, à température ordinaire; on peut, par précaution, laisser encore un bon quart d'heure entre 50 et 60° avant de filtrer. La dissolution d'un vert foncé, mais limpide, laisse bien apercevoir, en général, s'il n'y a plus aucun dépôt métallique.

Pour certaines qualités d'acier, l'attaque se fait beaucoup plus lentement.

On emploie utilement dans quelques laboratoires, à l'exemple de A. Blair et de Dudley, un agitateur mécanique disposé de manière à opérer sur une douzaine de vases à la fois (Pl. X, *fig. 6*); on se sert alors pour la dissolution de verres cylindriques épais, que l'on place à hauteur convenable sur des blocs mobiles en bois; au-dessus de chacun d'eux est disposée verticalement une baguette de verre courbée à son extrémité inférieure et dont l'extré-

mité supérieure est fixée dans un bouchon engagé dans un tube creux de cuivre de 0^m,015 de diamètre.

Les douze tubes de cuivre sont supportés par autant de poulies de 0^m,10 de diamètre, qui sont situées sur un même plan horizontal au-dessus d'un même cadre en bois et mises en rotation par un ruban métallique commandé par un moteur électrique qui leur fait faire 400 tours par minute.

La dissolution est hâtée par l'agitation et s'effectue souvent en moins de dix minutes; mais elle peut aussi demander quarante-cinq minutes; cela dépend à la fois de la dimension des tournures et de la nature de l'acier.

On a soin de laver les agitateurs avant et après chaque opération.

On doit ensuite procéder au lavage et à la filtration.

On prend pour entonnoir un tube de verre (Pl. X, *fig. 7*), de 7 à 8 centimètres de long et 15 millimètres de diamètre intérieur, soudé par son extrémité inférieure à un tube de 4 millimètres seulement de diamètre et de quelques centimètres de long, s'il doit être placé sur un flacon mis en rapport avec une trompe ou un aspirateur, plus long et plus étroit, si l'on doit compter seulement sur la hauteur de la colonne liquide pour produire la succion. Au fond du gros tube on met quelques morceaux de verre et, par-dessus, on tasse aussi également que possible de la laine de verre ou de l'amiante en fibres très fines, que l'on a fortement calciné dans un courant d'air humide en vue de l'expulsion du fluor.

Pour faciliter l'extraction du filtre d'amiante, Blair a recommandé l'emploi d'un fil de platine, dont une extrémité, tournée en spirale, forme une sorte de petit disque, tandis que l'autre, restée droite, a une direction normale au plan du disque. Cette partie droite a pour but d'assurer d'abord la position horizontale du disque au fond du tube au-dessus de la portion rétrécie et plus tard, par une

légère pression, de faciliter l'extraction du filtre. On recouvre le disque d'une sorte de matelas de 8 à 10 millimètres formé par des fibres d'amiante un peu courtes, couchées à plat, que l'on prépare aisément en mêlant avec de l'eau les fibres coupées au ciseau et désagrégées entre les doigts et versant simplement dans l'entonnoir, sans presser. La filtration se fait bien et rapidement sur ce lit d'amiante que l'on retire ensuite aisément.

Le même filtre peut servir à une série d'opérations, en rafraîchissant la surface et remettant un peu d'eau et d'amiante.

Après avoir laissé reposer pendant quelque temps le liquide provenant de l'attaque, on décante doucement sur le filtre; on verse sur les parois du vase de l'eau faiblement acidifiée par l'acide chlorhydrique, afin de réunir toutes les parcelles de carbone, et on fait passer le tout sur le filtre, qu'on lave d'abord à l'eau acidulée, puis à l'eau chaude seule, jusqu'à ce qu'on n'observe plus dans l'eau de lavage la réaction de l'acide chlorhydrique. La filtration complète peut durer de trois quarts d'heure à une heure. Il est bon de s'assurer, en diluant d'eau pure la solution filtrée pour la rendre transparente et laissant reposer, qu'il ne se dépose aucune parcelle solide de carbone ayant échappé à la filtration.

Pour déterminer la proportion de carbone total resté insoluble sur le filtre d'amiante, on peut procéder de plusieurs façons différentes.

On commence par retirer du tube le filtre d'amiante avec le charbon, en le poussant par dessous avec une petite baguette. L'extraction est encore plus facile avec le fil de platine de Blair, qu'on pousse en serrant l'extrémité entre les doigts. S'il reste quelque peu de charbon sur les parois du tube, on l'enlève avec une fibre d'amiante tenue au moyen d'une pince.

On procède ensuite au dosage du carbone.

1° On obtient assez rapidement un résultat approximatif en séchant à 100 degrés le précipité sur l'amiante, calcinant dans un courant d'hydrogène et pesant, puis calcinant successivement dans un courant d'oxygène et dans un courant d'hydrogène et pesant de nouveau. La perte observée correspond au carbone total brûlé par l'oxygène au rouge;

2° On a plus d'exactitude en séchant, puis brûlant dans un courant d'oxygène (Pl. X, *fig. 2*) et dosant l'acide carbonique (comme dans l'opération de voie sèche I, A, α ou β).

(α). — Si l'on veut déterminer l'augmentation de poids du tube à potasse (comme en I, A, α , p. 371) dans la crainte que le résidu contienne un peu de chlorure métallique ou d'acide chlorhydrique, on remplacera le tube à chlorure de calcium par un tube en U rempli de sulfate de cuivre anhydre destiné à retenir, en outre de l'humidité, toute trace d'acide chlorhydrique.

Le réactif se prépare en évaporant une solution concentrée de sulfate de cuivre avec de la pierre ponce en grains grossiers, remuant à la fin avec une baguette de verre, puis introduisant dans le tube en U et chauffant dans une étuve à 200 degrés pendant longtemps. Lorsque le réactif desséchant a déjà servi, on en chasse l'acide chlorhydrique absorbé, ainsi que l'eau, et on le ramène à son état de sel anhydre en chauffant de nouveau longtemps à 200 degrés. On recouvre le sulfate dans le tube en U par un petit tampon d'ouate, pour qu'il ne puisse pas y avoir entraînement de sel en poussière par le courant gazeux.

A la suite du tube à potasse, on place un second tube à sulfate de cuivre déshydraté, semblable au premier, afin que le gaz soit desséché de la même façon dans les deux cas et que l'augmentation de poids des deux derniers tubes corresponde exactement au poids de l'acide carbonique. L'emploi du sulfate de cuivre déshydraté

a toujours parfaitement réussi dans mon laboratoire.

Dudley et Pease, chimistes de la Pennsylvania Railroad Company ont recommandé une autre disposition pour arrêter tout dégagement de chlore et d'acide chlorhydrique. Elle consiste à placer dans le tube à combustion, immédiatement après la nacelle et avant le tampon d'amiante qui maintient la colonne d'oxyde de cuivre, une feuille d'argent métallique enroulée sur elle-même, de manière à former un rouleau serré de 0^m,05 de long. Il faut, en outre, faire passer le gaz, au sortir du tube à combustion, dans un tube à boules rempli d'une solution de sulfate de fer acide et dans un autre tube à demi plein d'une solution saturée de sulfate d'argent; on parvient ainsi à retenir tout le chlore libre et tout l'acide chlorhydrique qui pourraient provenir du sous-chlorure de cuivre, du chlorure de fer ou de l'acide chlorhydrique laissés dans le dépôt de carbone par défaut de lavage.

La méthode de dosage du carbone total par dissolution au moyen du chlorure double de cuivre et de potassium et par combustion du carbone isolé par l'oxygène, avec absorption de l'acide carbonique par la potasse, donne des résultats très satisfaisants. Après de nombreux essais et tout en reconnaissant quelques causes d'erreurs (vapeurs d'hydrocarbures par les bouchons et les tubes en caoutchouc, difficulté de sécher d'une manière absolument égale les gaz et les appareils pour les deux pesées comparatives), Dudley et Pease ne pensent pas que ces erreurs combinées puissent altérer le dosage du carbone de plus de 0,01 ou 0,02 p. 100 de métal.

(β). — La modification que je viens d'indiquer en α, p. 383, dans le but de retenir le chlore, est tout à fait inutile, si l'on veut (comme en I, A, β, p. 372) transformer l'acide carbonique retenu par la potasse en carbonate de baryte et celui-ci en sulfate de baryte pour calculer le carbone.

3° L'oxydation du carbone, au lieu de se faire par l'oxygène au rouge, peut être obtenue dans de très bonnes conditions par voie humide au moyen de l'acide chromique.

On fait tomber dans le ballon (A) qui doit servir à l'attaque, le résidu charbonneux avec le filtre d'amiante, sans prendre la peine d'en opérer la dessiccation. Le lavage doit avoir été fait avec un très grand soin, de manière à enlever tous les chlorures, si l'on veut déterminer le poids de l'acide carbonique; il n'a pas besoin d'être poussé aussi loin, si l'on se propose de le transformer en carbonate de baryte.

L'appareil se compose (Pl. X, *fig.* 8) d'abord d'une éprouvette à pied (B) remplie de fragments de soude ou de potasse caustique, pour retenir l'acide carbonique de l'air puis d'un tube en U à ponce sulfurique (C), relié au ballon d'attaque par un petit tuyau de caoutchouc qu'on peut fermer parfaitement au moyen d'une pince (K).

Le ballon (A) de 250 centimètres cubes de capacité environ doit être étroit et haut d'une trentaine de centimètres, muni d'un tube de dégagement avec boule, de façon à refroidir et condenser les vapeurs sulfuriques. Le tube de dégagement est assez long et communique d'abord avec un flacon à acide sulfurique concentré (D), puis avec un tube en U contenant de la ponce sulfurique (E); on relie à celui-ci, par un tuyau de caoutchouc muni d'une pince (K'), soit un tube à boules à dissolution de potasse, suivi d'un second tube à ponce sulfurique, pour la pesée de l'acide carbonique (comme en II, B, α, p. 383); soit un tube à chlorure de calcium (E) et un tube à boules à potasse entièrement décarbonatée (F) pour la transformation en carbonate et en sulfate de baryte (comme en II, B, β, p. 384).

Pour une opération, on coupe au-dessus et au-dessous des filtres d'amiante le tube, qui a servi d'entonnoir après

l'attaque de l'acier par le sel de cuivre; on enlève le filtre avec le résidu charbonneux, pour l'introduire dans le ballon (A), si cela est possible sans aucune perte; sinon, on met dans le ballon le tube coupé avec le filtre et son contenu. La bonne fermeture des différentes parties de l'appareil ayant été vérifiée, au moyen de l'aspirateur, on verse dans le ballon (A) 60 centimètres cubes d'acide sulfurique, à la densité de 1,65, que l'on a d'avance saturé d'acide chromique par digestion avec des cristaux; à défaut d'acide ainsi préparé, on met dans le ballon 8 à 10 grammes d'acide chromique en dissolution saturée et on y verse 60 centimètres cubes d'acide sulfurique. On referme le ballon. On détache le tube à potasse (qu'on pèse avec le tube à ponce sulfurique, si l'on prend la disposition (α)), et on ne le remet en place qu'après avoir, au moyen de l'aspirateur, remplacé l'air contenu par de l'air bien privé d'acide carbonique; on ferme alors le tube d'arrivée de l'air au moyen de la pince (K).

On chauffe doucement le ballon sur un bec Bunsen et on voit bientôt commencer le dégagement de gaz produit par l'oxydation du carbone; on modère la flamme, de façon à n'avoir pas plus de deux ou trois bulles de gaz par seconde dans le flacon laveur à acide sulfurique (D). Lorsque le dégagement se ralentit, on chauffe un peu plus le ballon; puis on pousse jusqu'à une ébullition douce et, lorsque le dégagement paraît s'arrêter, on règle l'aspirateur, en même temps qu'on ouvre la pince (K) de manière à produire, pendant dix minutes environ, un courant d'air assez lent, qui entraîne tout le gaz contenu dans l'appareil et le fait passer à travers la solution de potasse. L'opération entière dure à peu près une heure.

Il ne reste plus qu'à peser ensemble les deux tubes à potasse et à ponce sulfurique; p étant l'augmentation de

poids, n le nombre de grammes de la prise d'essai, la teneur en carbone pour 100 est exprimée par la formule :

$$C = 27,273 \times \frac{p}{n}.$$

Ou bien on verse le contenu du tube d'absorption, ainsi que l'eau de lavage, dans de l'eau distillée bouillante et on précipite le carbonate par le chlorure de baryum, puis on transforme le carbonate en sulfate de baryte pour la pesée :

$$C = 5,450 \times \frac{p}{n}.$$

On obtient ainsi de fort bons résultats; mais l'opération, composée de deux parties successives, qui, l'une et l'autre, demandent une surveillance attentive, a l'inconvénient d'être assez longue. On peut l'abréger en faisant l'attaque du métal directement par l'acide sulfurique et l'acide chromique, dans l'appareil que nous allons décrire.

C. — *Emploi direct et simultané de l'acide sulfurique et de l'acide chromique.*

La méthode a été donnée par Brunner et modifiée par Jüptner et Gmelin.

L'appareil se compose d'un gazomètre (L) suivi d'un tube en U à potasse (M) destiné à retenir l'acide carbonique de l'air (Pl. XI, *fig.* 1); (A) est un ballon de 300 centimètres cubes dans lequel s'effectue l'attaque; il est relié au gazomètre par un tube coudé (N) muni d'une rondelle de caoutchouc servant à le fixer au tube à boule (B); celui-ci porte un robinet de verre (R) pour l'introduction des réactifs; le tube (O) contient de l'acide sulfurique dans sa partie inférieure, (P) de la ponce sèche, (T) de la ponce

sulfurique, (S) est un tube à potasse et (V) un tube à ponce sulfurique.

Le métal, réduit en poudre ou en copeaux très fins, est pesé, puis introduit dans le ballon (A); on le recouvre, ainsi que le fond du ballon, par une solution saturée d'acide chromique. Pour chaque gramme de métal, il faut employer de 8 à 10 grammes d'acide chromique cristallisé, c'est-à-dire cinq fois environ la quantité nécessaire pour oxyder le fer, et, pour cela, 8 à 10 centimètres cubes d'une solution saturée d'acide chromique, qui renferme à peu près 1 gramme d'acide par centimètre cube.

On verse ensuite 200 centimètres cubes d'acide sulfurique à la densité de 1,65, qui a été préalablement saturé d'acide chromique par digestion avec des cristaux; ce liquide, arrivant au contact de la solution chromique, lui enlève son eau et fait déposer sur la poudre métallique une sorte de croûte protectrice ressemblant à du cuir. Sans agiter le ballon (suivant les indications de Gmelin), on fait couler lentement de la boule (B), par le tube terminé en pointe à la surface même de la solution, environ 50 centimètres cubes d'acide sulfurique étendu, à la densité de 1,10, qui reste à la surface et ne se mêle que très lentement à l'acide concentré, en sorte que l'on n'a aucune attaque du métal et aucune perte avant que l'appareil soit prêt pour l'opération. Le mélange ne se fera que lorsqu'on chauffera le ballon.

(α). — Au moyen de l'aspirateur, et après avoir fermé le robinet R, on s'assure de l'étanchéité de toutes les parties de l'appareil, que l'on fait ensuite traverser par un courant d'air venant de (L), privé d'acide carbonique par son passage à travers le tube en U (M); on retire ensuite les tubes à potasse, que l'on pèse, tandis que le courant gazeux est maintenu dans le reste de l'appareil; on ferme le robinet (R), on remet en place les tubes pesés

et on commence à chauffer le ballon au moyen d'un bec Bunsen.

Au bout de quelques minutes, on voit commencer le dégagement de l'acide carbonique, qui se continue doucement et régulièrement jusqu'à la fin, tandis que la liqueur sulfurique se maintient en ébullition. La fin de la réaction est marquée par la cessation du dégagement de fines bulles de gaz au travers du liquide; en même temps, on cesse de voir des paillettes noires de graphite rejetées sur les bords et ramenées par l'acide condensé le long des parois, comme il s'en produit toujours avec la fonte grise ou truitée; on n'aperçoit plus que la silice incolore et le liquide ne se recouvre plus que de grosses bulles.

A ce moment, la combustion du carbone étant complète, on rétablit le courant d'air et l'on baisse graduellement la flamme du brûleur que l'on éteint finalement. Le chauffage a ordinairement duré d'une heure à une heure et demie.

On fait passer l'air très lentement d'abord, puis un peu plus vite, pendant trois quarts d'heure environ, de manière à déplacer trois ou quatre litres d'eau.

L'acide carbonique contenu dans le ballon passe avec l'air dans le tube à potasse, où il est retenu. Son poids est donné par l'augmentation trouvée dans la pesée des tubes à potasse et à ponce sulfurique.

L'expérience a montré que la totalité du carbone ne passe pas à l'état d'acide carbonique, mais qu'il se dégage aussi un peu d'hydrogène carboné, qui échappe ainsi au dosage. Comme l'acide sulfurique concentré en retiendrait une partie, il faut placer aussitôt après le ballon (A) qui sert à l'attaque et en avant du tube à acide sulfurique (O) un tube de verre rempli d'oxyde de cuivre en fragments, chauffé sur une rampe à gaz. De cette manière, tous les composés carburés sont transformés en eau que retiendra l'acide sulfurique et en acide

carbonique qui pourra être dosé par l'augmentation de poids du tube à potasse.

Särnström (*Jern Kontorets Annaler*), à qui l'on doit les observations précédentes, a été conduit à adopter le dispositif suivant : à la suite du ballon, il place le tube à oxyde de cuivre, puis un serpentin à acide sulfurique concentré, puis le tube à potasse et enfin un dernier tube à acide sulfurique relié à l'aspirateur.

Il a, plus récemment, remplacé le tube à oxyde de cuivre par un tube de platine de 1/2 millimètre de diamètre, chauffé au rouge clair par un brûleur, dans lequel passent les gaz provenant de l'attaque, mêlés à un courant d'air continu, que l'on active au moment où le dégagement de gaz devient plus vif et que la pression a tendance à augmenter dans l'appareil. Le tube de platine, soudé par ses extrémités à deux tubes de laiton, a une longueur totale de 30 centimètres; mais il est recourbé en anneau vers le milieu, de sorte que la distance de ses deux extrémités n'est que de 22 centimètres.

Le tube de platine offre, d'après Särnström, l'avantage sur le tube à oxyde de cuivre de pouvoir servir à un très grand nombre d'opérations et d'être porté au rouge en deux minutes seulement, au moyen d'un seul brûleur.

(β). — Lorsque le métal est peu carburé, on peut craindre que la variation de poids des tubes, due à l'humidité qui se trouve à la surface des appareils d'absorption, bien qu'on les ait essuyés avec soin à l'aide d'un linge de coton, modifie le dosage dans une proportion sensible. On préfère alors remplacer le tube à ponce sulfurique et les tubes pesés (à potasse et ponce sulfurique) par un tube à chlorure de calcium et un tube à boules rempli d'une solution de potasse décarbonatée par la baryte; on termine par la précipitation du sulfate de baryte, comme nous l'avons indiqué plus haut. La con-

duite de l'opération est d'ailleurs absolument la même que dans le cas précédent.

Cette méthode, bien qu'elle exige beaucoup moins de temps et de surveillance continue que la méthode précédente, permet de faire le dosage du carbone avec une grande sûreté.

Elle peut être employée, non seulement pour les aciers ordinaires, les fers et les fontes, mais aussi pour les aciers chromés et même les ferrochromes, à la condition qu'ils soient en poussière extrêmement fine; leur teneur en carbone étant presque toujours assez élevée, on peut se contenter d'opérer sur 1 gramme et même, à la rigueur, un demi-gramme du métal, qui est ordinairement très dur et difficile à pulvériser.

Modifications à la méthode d'attaque par les acides sulfurique et chromique. — Le D^r Corleis, chimiste des usines Krupp, à Essen, dans une série d'expériences très soignées (*Stahl und Eisen*, 1894), a fait de très utiles observations sur la méthode d'attaque par le mélange des acides sulfurique et chromique, sur les causes d'erreur à éviter et les dispositions à prendre. On peut les résumer ainsi :

1° Il y a dégagement non seulement d'acide carbonique, mais aussi d'hydrogène, de carbure d'hydrogène et d'un peu d'oxyde de carbone. La production de carbure est particulièrement importante avec le ferro-manganèse, surtout s'il est en poudre fine;

2° Une trop faible concentration de l'acide sulfurique laisse dans la fiole une partie du carbure d'hydrogène. L'acide doit avoir un poids spécifique d'au moins 1,58 pour éviter cette cause de perte. Le carbure dégagé peut être brûlé sur une colonne d'oxyde de cuivre chauffé au rouge en vue du dosage de l'acide carbonique;

3° L'addition de sulfate de cuivre avec le mélange des

acides diminue beaucoup la proportion d'hydrogène dégagé; pour achever la transformation en acide carbonique, il n'est plus besoin d'un long tube à oxyde de cuivre, mais seulement d'un tube court, chauffé par une seule flamme ou d'un petit tube à fils de platine. Les aciers ordinaires ne laissent plus dégager sous forme de carbure que 1 1/2 à 2 p. 100 du carbone total; dès lors, il suffit, dans les analyses courantes, d'augmenter de 2 p. 100 environ le poids d'acide carbonique trouvé par le dosage, sans employer de tube à combustion;

4° L'acide sulfurique des flacons laveurs retient une quantité sensible de carbure d'hydrogène; il convient donc de lui substituer, comme desséchant, l'anhydride phosphorique, qui ne présente pas le même inconvénient.

En conséquence de ces observations, le D^r Corleis a recommandé la méthode suivante avec la disposition d'appareils indiquée à la page 393.

Les réactifs sont :

1° L'acide chromique parfaitement exempt de matières organiques (tandis que celui du commerce en contient), on en sature l'acide sulfurique pur du commerce;

2° Le sulfate de cuivre pur en solution dans l'eau distillée, à raison de 200 grammes par litre;

3° L'acide sulfurique concentré;

4° L'anhydride phosphorique;

5° La chaux sodée;

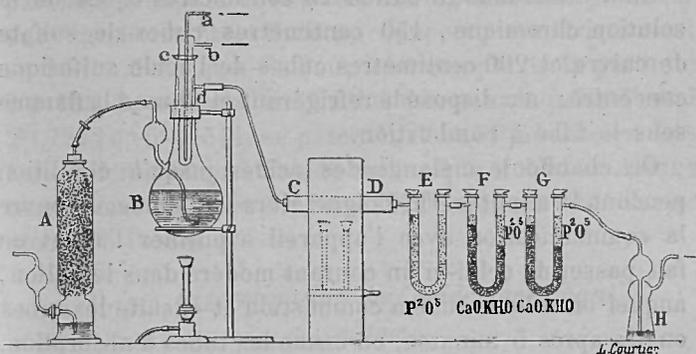
6° L'oxyde de cuivre; tels qu'on les prépare dans le commerce, comme réactifs purs.

L'appareil comprend :

1° Une éprouvette à pied (A) pour la purification de l'air, présentant un pied avec dissolution de potasse, où plonge l'extrémité d'un tube à boule, et un gros tube rempli de chaux sodée;

2° Un ballon (B), relié au tube précédent par un tuyau de caoutchouc avec pince et par un tube à boule qui y pé-

nètre latéralement et se recourbe à son extrémité inférieure; le col du ballon légèrement conique et un peu évasé à son bord supérieur, est fermé par une pièce en verre, où l'on fait circuler un courant d'eau froide entrant par le



petit tube (a), sortant par (b); un peu d'eau versée dans la petite cuvette annulaire (c) empêche toute perte de gaz.

Le courant gazeux sort du ballon (B) en passant dans l'intervalle compris entre le col et le réfrigérant; il se rend par le tube (d) dans un tube court, en porcelaine ou en verre difficilement fusible, rempli d'oxyde de cuivre calciné ou de fils de platine, que l'on chauffe au moment de l'opération au moyen d'un ou deux becs Bunsen.

A la suite du tube à combustion se placent trois tubes en U : le premier (E) est rempli d'anhydride phosphorique pour retenir toute l'humidité du gaz; les deux suivants (F) et (G) sont garnis, pour les trois quarts de chaux sodée (*), pour le dernier quart d'anhydride phosphorique; ils absorbent avec tant d'énergie l'acide carbonique et l'humidité qu'un seul tube pourrait suffire; le second sert de contrôle. Un petit flacon (H) garni d'acide sulfurique concentré est placé à l'extrémité de l'appareil

(*) C'est par erreur que la figure porte KHO au lieu de NaHO.

pour protéger les tubes pesés contre l'air humide et pour permettre de voir si le courant est régulier. Il est relié à un aspirateur.

La marche de l'opération est la suivante :

On a versé dans le ballon 25 centimètres cubes de la solution chromique, 150 centimètres cubes de sulfate de cuivre et 200 centimètres cubes de l'acide sulfurique concentré ; on a disposé le réfrigérant et allumé la flamme sous le tube à combustion.

On chauffe le mélange des acides jusqu'à ébullition pendant 10 minutes. On éloigne alors la flamme, on ouvre la communication avec l'appareil à purifier l'air et on fait passer de celui-ci un courant modéré dans le ballon, auquel on relie le tube à combustion et ensuite les tubes en U ; après 5 minutes, on ferme les tubes à absorption, on les laisse 10 minutes dans la chambre de la balance, on les essuie avec un linge, on les porte sur la balance et on les pèse après 5 minutes. Lorsqu'on les a remis en place, on introduit rapidement la prise d'essai dans le ballon, soit au moyen d'un entonnoir très allongé, soit au moyen d'une petite nacelle suspendue ; on remet en place le réfrigérant et on verse un peu d'eau dans la cuvette annulaire du col.

On chauffe alors les acides et, pendant la durée de l'attaque, on fait passer un courant d'air très faible ; on règle la flamme de manière à n'arriver à l'ébullition qu'après 15 ou 20 minutes et on la fait durer de 1 à 2 heures selon la nature du métal. On éloigne alors la flamme et on laisse continuer le courant d'air pendant 2 heures environ.

On ferme les tubes à absorption et on les pèse avec les mêmes précautions que précédemment.

La prise d'essai varie depuis 0,5 jusqu'à 5,0 grammes, suivant sa teneur présumée en carbone.

Pour les aciers ordinaires, nous avons dit que l'emploi du sulfate de cuivre réduit la production de carbure

d'hydrogène à une proportion presque uniforme, correspondant à 2 p. 100 du carbone total ; dans ce cas, on peut simplifier l'appareil par la suppression du tube à combustion ; on réduit en même temps la longueur de l'appareil en groupant côte à côte les tubes à absorption sur une tige horizontale fixée au support, symétriquement au ballon d'attaque. — Pour tenir compte de la perte de 2 p. 100 de carbone, au lieu de peser pour la prise d'essai 2^{gr},7272 ou 5^{gr},4544, on pèse 2^{gr},77 ou 5^{gr},54 d'acier. Dès lors, 1 centigramme d'acide carbonique trouvé au dosage correspond à 0,10 ou à 0,05 p. 100 de carbone dans l'acier soumis à l'essai.

D. — Détermination de l'acide carbonique en volume.

L'acide carbonique formé par oxydation du carbone sous l'action de l'acide chromique peut être mesuré en volume, au lieu d'être déterminé d'après son poids ou d'après celui du sulfate de baryte.

Tel est le principe de la méthode imaginée par *J. Wiborgh*, en Suède (*Stahl und Eisen*, 1887) : l'acier est traité par le sulfate de cuivre et le résidu de l'attaque, comprenant carbone, fer inattaqué, cuivre, etc., est dissous dans un mélange d'acide chromique et d'acide sulfurique. L'acide carbonique résultant de l'oxydation du carbone par voie humide est recueilli avec les autres gaz dégagés. Le volume total est mesuré, puis l'acide carbonique seul est absorbé par la potasse ; le volume restant est de nouveau mesuré. La différence permet, avec les corrections de température et de pression, de déduire le poids du carbone.

L'appareil de *Wiborgh*, dans lequel les mesures s'effectuaient sur de l'eau, ne pouvait pas donner de résultats bien exacts, à cause de la solubilité de l'acide carbonique dans l'eau ; les erreurs étaient d'autant plus graves

que la quantité d'acier employée dans l'analyse ne dépassait pas 0^{gr},10 ou 0^{gr},20. Il a été successivement perfectionné par Reis, par Thøerner, par Lunge et Machlewski (*Stahl und Eisen*, 1888, 1889, 1891).

En 1892, *Brustlein*, directeur des aciéries d'Unieux (Loire), a fait connaître une disposition nouvelle pour le dégagement de l'acide carbonique et le mesurage des volumes gazeux sur le mercure, disposition qui permet, en opérant sur une plus grande quantité de matière et en évitant le contact de l'eau, d'obtenir un dosage bien plus précis.

On prend 2 grammes de fer ou 1 gramme d'acier en copeaux aussi fins que possible; la fonte doit être pulvérisée et l'on n'en prend que 0^{gr},50.

La prise d'essai est introduite dans le flacon (A) qui a 200 centimètres cubes de capacité environ (Pl. XI, *fig.* 2). On y verse 20 centimètres cubes d'une solution saturée de sulfate de cuivre, qu'on laisse agir pendant une demi-heure à une heure, en agitant fréquemment, de manière à dissoudre le fer aussi complètement que possible.

On ajoute alors avec précaution, par le tube-entonnoir à robinet (B), de l'acide sulfurique, à la densité de 1,70 ou à 60° de Baumé, saturé d'acide chromique. Le mélange se prépare en versant 1.500 centimètres cubes d'acide sulfurique monohydraté dans 300 centimètres cubes d'eau et ajoutant 100 grammes d'acide chromique. On en verse 120 centimètres cubes dans le flacon (A); on complète à 150 centimètres cubes en ajoutant environ 10 centimètres cubes d'eau, si la prise d'essai est de 0^{gr},50 ou 1 gramme. Si elle est de 2 grammes, on complète par une solution de 4 grammes d'acide chromique dans 5 à 6 centimètres cubes d'eau.

On chauffe le ballon de manière à avoir une ébullition calme et régulière, après avoir fermé les robinets *b* et *f* et tourné le robinet *d*, de manière à mettre la branche *a* du tube capillaire *a, d, i*, en communication avec le tube

mesureur (D), qui doit être à ce moment rempli de mercure jusqu'au robinet *d*.

Les robinets *d* et *f* sont à trois voies, du système Greiner-Friedrich, représenté à droite de la figure par une vue de dessus (M), par une coupe du boisseau (P) et par une vue par bout (N), après que le boisseau a été enlevé:

Les deux conduits obliques, qui traversent le boisseau et aboutissent aux deux extrémités opposées d'un même diamètre, permettent de mettre le tube inférieur en communication soit avec le tube de gauche (*a*), soit avec le tube de droite (*b*), en faisant tourner le boisseau de 180° autour de son axe.

Le tube mesureur (D), dont la capacité est exactement connue, mais dont la partie inférieure seule est graduée en cinquièmes de centimètre cube de 0 à 100, est enveloppé dans un manchon de verre de forme analogue, traversé par un courant d'eau froide, dont la température est indiquée par un thermomètre θ suspendu dans le renflement supérieur. L'eau froide se rend de là au bas du manchon qui entoure le tube condenseur (C) et s'écoule par le haut de ce manchon.

Le tube mesureur est, à son extrémité inférieure, relié par un tube fixe et un tube mobile en caoutchouc avec un réservoir à mercure en verre épais (G), que l'on peut élever ou abaisser à volonté; un tube vertical (E) presque capillaire, ouvert par le haut et communiquant par le bas avec le tube gradué et le réservoir à mercure, sert à faire connaître la pression intérieure à chaque instant de l'opération.

Pendant l'ébullition du liquide dans le ballon (A), les gaz dégagés se rendent dans le mesureur. On y maintient la pression à peu près égale à celle de l'atmosphère, en desserrant légèrement la pince qui comprime le tuyau de caoutchouc, ce qui permet au mercure de retourner

au réservoir placé plus bas. On se guide à cet effet sur les indications données par le tube vertical à mercure placé à côté du manchon.

Au bout d'une heure en général (une heure et demie pour les prises d'essai de 2 grammes), l'attaque est terminée. On laisse refroidir le ballon pendant cinq minutes, puis on introduit de l'eau par le tube-entonnoir (B), en ouvrant le robinet *b* et abaissant le réservoir (G) de façon à refouler les gaz vers le mesureur ; on s'arrête lorsque le liquide arrive près du robinet *d*, que l'on ferme aussitôt. Le volume de gaz resté au delà du robinet dans le tube capillaire est tout à fait négligeable. On procède alors à la mesure du volume gazeux.

Les gaz du mesureur sont ramenés à la pression atmosphérique, d'abord approximativement en mettant à peu près au même niveau les surfaces de mercure dans le mesureur et dans le tube latéral, puis très exactement au moyen d'un petit manomètre à eau (F), qu'on met en communication avec le mesureur au moyen du robinet *f* (du système Greiner-Friedrich) (*). On inscrit le volume mesuré, la pression atmosphérique et la température indiquée par le thermomètre *θ*.

Il reste à absorber l'acide carbonique et à mesurer le volume de gaz restant.

A côté du manomètre à eau se trouve un absorbeur à potasse, composé d'un premier vase de 400 à 500 centi-

(*) On peut intercaler en *o* un tube en forme de T, assemblé avec des tuyaux de caoutchouc, qui a été représenté à part à plus grande échelle. On ouvre ou on ferme le tube en T avec une baguette de verre.

Cet ajoutage ne sert qu'exceptionnellement : 1^o quand le dégagement de gaz est insuffisant pour faire descendre assez le mercure dans le tube gradué, auquel cas on introduit de l'air; 2^o quand le dégagement est trop abondant; dans ce cas on fait l'opération de l'absorption en deux fois, en évacuant le premier résidu par le tube en T.

mètres cubes, garni de tubes en verre très mince, et d'un flacon de 500 centimètres cubes rempli d'une solution de potasse, comme l'absorbeur de l'appareil Orsat.

La solution de potasse doit avoir été amenée au repère *i*, au début de l'opération.

Au moyen du robinet *f*, on isole le manomètre à eau et l'on établit la communication du mesureur avec l'absorbeur à potasse. On fait passer le gaz à plusieurs reprises dans la partie supérieure de l'absorbeur, en élevant et en abaissant successivement le réservoir à mercure. L'acide carbonique est totalement retenu par l'alcali. On ramène alors la solution de potasse à son repère *i*, on referme le robinet *f* et on mesure de nouveau le volume gazeux avec les mêmes précautions que la première fois.

La différence des deux volumes, pris à la même température, à la même pression et avec la même tension de vapeur d'eau, qui sont connues, donne le volume de l'acide carbonique dans les mêmes conditions et permet, par conséquent, de calculer le volume à 0° et à 0^m,760, *t* étant la température, *h* la pression atmosphérique observée, *e* la tension de la vapeur d'eau en millimètres de mercure :

$$V_0 = V \frac{h - e}{760(1 + 0,00367t)}$$

Brustlein a obtenu, par cette méthode, des résultats très satisfaisants, pourvu qu'il n'y eût pas de graphite et surtout si le carbone se trouvait dans l'acier à l'état de carbone de trempe et non de recuit. Aussi recommande-t-il, avant de prendre les copeaux pour la prise d'essai, « de tremper l'acier et de ne le faire revenir de ce qui est juste nécessaire pour que le métal puisse s'attaquer à la mèche ».

Walther-Hempel, en étudiant de près le dosage du carbone par la méthode de Wiborgh, modifiée par Lunge

et Machlewski, reconnu que la dissolution du fer par le sulfate de cuivre donne naissance à une certaine quantité d'hydrogène carboné, dont il n'est pas tenu compte, et que cette perte produit même une erreur plus grande que les autres erreurs inhérentes à la méthode (*Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbflusses*, 1893).

L'exemple fourni par la méthode de Weyl, où l'action d'un faible courant électrique donne lieu à la dissolution du fer sans aucune production d'hydrogène carboné, même dans une solution acide, lui donna l'idée d'essayer si l'addition d'un métal plus électro-positif que le cuivre par rapport au fer, tel que le mercure, ne procurerait pas un résultat meilleur. Il réussit en effet à produire la dissolution du fer, au contact du mercure, par l'action combinée de l'acide sulfurique et de l'acide chromique, sans aucun dégagement appréciable d'hydrogène carboné. Cette nouvelle méthode présente, en outre, l'avantage d'abrèger très sensiblement l'opération.

L'appareil de Walther-Hempel (décrit en détail dans les *Verhandlungen*, 1893, p. 470) ne semble pas présenter d'avantage notable sur l'appareil ci-dessus décrit de Brustlein. Nous nous bornerons donc à faire connaître la préparation des réactifs et la manière d'opérer la dissolution de l'acier par la nouvelle méthode, en supposant que le mesurage des volumes gazeux continue de se faire avec l'appareil Brustlein, comme nous l'avons indiqué plus haut.

L'acide sulfurique, à la densité de 1,70, s'obtient en mêlant 1.000 centimètres cubes d'acide de commerce, au maximum de concentration avec 500 centimètres cubes d'eau; on ajoute 10 grammes d'acide chromique, on chauffe une heure sur le bain de sable près du point d'ébullition et l'on fait passer pendant cinq minutes un courant d'air pour enlever tout l'acide carbonique qui

peut s'être formé par la combustion des substances organiques contenues.

L'acide chromique doit être également purifié de toute trace de substance organique en chauffant avec de l'acide sulfurique vers 80 ou 90° et faisant ensuite cristalliser. La solution se prépare en dissolvant 100 grammes des cristaux obtenus dans 300 centimètres cubes d'eau et 30 grammes de l'acide sulfurique ($d = 1,70$), préparé comme il vient d'être dit. Le poids spécifique de cette solution doit être 1,20; une plus forte teneur en acide chromique, qui augmenterait la densité, aurait l'inconvénient de donner lieu à un dégagement trop rapide d'oxygène pendant la dissolution du métal.

On introduit dans le ballon, au moyen d'un petit tube de verre pesé, la prise d'essai à analyser (environ 0^{gr},50), dont on prend par différence le poids exact. On y ajoute, au moyen d'une petite pipette de verre, de 2 à 3 grammes de mercure, puis on verse dans le ballon (A), 30 centimètres cubes de la solution chromique. Le reste de l'appareil a été mis en état, comme dans l'opération précédente, le mercure du mesureur venant jusqu'au robinet *d* et la solution de potasse jusqu'au repère *i*.

On chauffe peu à peu jusqu'à l'ébullition, qu'on entretient environ trente minutes, tandis qu'en abaissant le réservoir à mercure on maintient la pression dans le mesureur peu au-dessous de la pression atmosphérique.

On fait alors passer du tube-entonnoir (B) au ballon (A) 120 centimètres cubes d'acide sulfurique ($d = 1,70$), préparé comme il est dit plus haut, et l'on continue à faire bouillir encore pendant trente minutes.

La dissolution du fer étant terminée et le carbone ayant passé intégralement à l'état d'acide carbonique, on fait rendre tous les gaz dans le mesureur en ajoutant de l'eau dans le ballon par le tube (B) et en abaissant le réservoir de façon que le liquide arrive près du robinet *d*; on ferme

aussitôt ce robinet pour procéder ensuite au mesurage du volume gazeux avant et après absorption de l'acide carbonique par la potasse.

W. Hempel recommande que le métal à analyser soit en fragments assez petits. Il estime que, pour l'acier et la fonte grise, les tournures ordinaires, obtenues au foret, conviennent. Pour la fonte blanche, les fragments doivent être pulvérisés, de telle sorte que les parcelles passent à travers un tamis de 400 à 500 mailles par centimètre carré.

GRAPHITE ET CARBONE GRAPHITIQUE.

On prend soit 2 grammes de fonte grise, soit 3 grammes de fonte truitée, soit 4 ou 5 et quelquefois jusqu'à 10 grammes de fonte blanche, d'acier ou de fer, en fragments assez petits, copeaux, limaille ou sable. On traite par un poids dix fois égal d'acide chlorhydrique, à 1,10 de densité, et on chauffe entre 60 et 80°, jusqu'à dissolution complète du métal; le carbone amorphe est éliminé à l'état de carbure d'hydrogène avec les autres combinaisons hydrogénées; on maintient pendant une demi-heure à une température voisine de l'ébullition. Après addition d'eau bouillante, le résidu insoluble, composé de graphite et de silice gélatineuse, est retenu sur un filtre d'amiante calciné, pesé à l'avance; on achève le lavage à l'eau chlorhydrique bouillante, puis à l'eau pure, enfin trois ou quatre fois avec une solution de potasse chaude de densité 1,10, afin d'enlever toute la silice hydratée; on lave encore avec de l'eau chaude, puis successivement avec un peu d'alcool et avec un peu d'éther. On sèche à 120° environ et on pèse. Pour plus de sûreté, on brûle le graphite en chauffant au rouge très vif et on pèse de nouveau. Ou bien, après lavage, on brûle le graphite, soit par voie sèche dans un courant d'oxygène, soit par

voie humide au moyen de l'acide chromique, et on dose, comme précédemment, l'acide carbonique retenu dans un tube à dissolution de potasse.

Le dosage du graphite par ce moyen peut se faire en même temps que le dosage du soufre à l'aide de l'acide chlorhydrique.

Quelques chimistes emploient comme dissolvant l'acide azotique à 1,20 de densité, dont on prend 15 centimètres cubes par gramme de métal soumis à l'essai. Le résidu insoluble est recueilli sur un filtre taré d'amiante calciné, puis lavé à l'eau bouillante, à la potasse chaude, une seconde fois à l'eau bouillante, puis avec de l'acide chlorhydrique dilué et finalement une dernière fois à l'eau chaude. Le carbone est ensuite transformé en acide carbonique par l'une des méthodes précédemment décrites.

Ce dernier procédé d'isolement du graphite fournit, d'une façon générale, des résultats moins élevés que ceux donnés par le premier; il donne un résidu lourd, toujours nettement cristallisé et différant complètement du carbone amorphe léger, sans éclat, que fournit parfois l'attaque à l'aide de l'acide chlorhydrique. Ses résultats sont mieux d'accord avec ceux de l'essai par la méthode de Boussingault.

Nous avons déjà fait observer que la méthode au bichlorure de mercure fournit une indication approchée de la proportion de graphite. L'évaluation est un peu faible, en général, parce qu'un peu de graphite peut être brûlé, lorsque le résidu est porté au rouge sombre dans l'air. La différence est peut-être due plutôt au carbone graphitique qu'au graphite proprement dit.

CARBONE COMBINÉ ET DISSOUS.

Lorsqu'on a déterminé, d'une part, le carbone total et, d'autre part, le carbone libre (graphite et carbone gra-

phitique), la différence entre les deux nombres représente le carbone combiné ou dissous (carbone du carbure et carbone de trempe). C'est la méthode la plus sûre, en admettant que le graphite soit exactement représenté par le carbone resté insoluble après l'action de l'acide chlorhydrique ou azotique, de la potasse et de l'éther.

Pour obtenir directement une estimation approximative de la teneur en carbone combiné ou dissous, on a souvent recours au procédé colorimétrique connu sous le nom de *procédé Eggertz*. Il se pratique de la façon suivante :

Le métal doit être en poudre ou en limaille aussi fine que possible. On en pèse 0^{gr},10 qu'on verse dans un tube d'essai ; on le dissout par de l'acide azotique de 1,20 de densité ; celui-ci doit être bien exempt d'acide chlorhydrique, qui donnerait à la solution une teinte verdâtre.

La quantité d'acide azotique à employer peut être sans inconvénient un peu trop forte ; elle ne doit pas être trop faible, afin de ne pas donner avec l'eau une teinte trop sombre, qui ferait estimer trop haut la teneur en carbone. Les quantités adoptées sont :

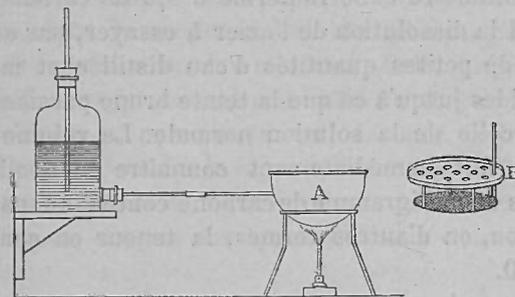
2	3,3	d'acide pour	0 ^{gr} ,10	d'acier	tenant	moins	de	0,30	p.	100	de	carbone ;
3	—	—	—	—	—	—	—	de	0,25	à	0,30	—
4	—	—	—	—	—	—	—	de	0,30	à	0,50	—
5	—	—	—	—	—	—	—	de	0,50	à	0,80	—
6	—	—	—	—	—	—	—	de	0,80	à	1,00	—
7	—	—	—	—	—	—	—	plus	de	1,00	—	—

ou pour 0^{gr},05 de fonte blanche.

On traite en même temps et de la même façon 0^{gr},10 d'un métal type, de nature peu différente et dont la teneur en carbone a été déterminée aussi exactement que possible par l'une des méthodes précédentes.

L'acide azotique est mesuré rapidement dans un vase gradué et versé en égales quantités dans les deux tubes ; l'attaque se fait vite, et il se produit souvent des flocons bruns ou noirs, qu'il faut dissoudre par agitation. On

place les deux tubes dans un bain-marie, où on les maintient à 100° pendant une demi-heure ou trois quarts d'heure, jusqu'à ce que la dissolution soit bien terminée des deux côtés (*). On se sert habituellement d'un bassin en cuivre (A) avec tôle percée de trous (B) formant couvercle et laissant passer le haut des tubes et la tige d'un thermomètre ; ce bassin est rempli d'eau recouverte de quelques grammes de paraffine pour empêcher une évaporation trop rapide.



On refroidit rapidement les deux tubes en les plaçant dans l'eau froide et les protégeant contre la lumière, qui produit, à la longue, une atténuation de la teinte. S'il y a un dépôt noir de graphite, il faut le séparer en faisant passer la solution sur un petit filtre d'amianté qu'on lave ensuite avec quelques centimètres cubes d'eau. Il doit, d'ailleurs, toujours y avoir au moins autant d'eau que d'acide pour que l'on n'ait pas à craindre la coloration due à l'azotate de fer concentré.

Les deux solutions à comparer sont reçues dans deux tubes en verre bien blanc, ayant même calibre et même épaisseur, de 30 centimètres cubes de capacité ; ces

(*) On peut aller plus vite dans certains cas spéciaux, mais la coloration est alors un peu plus foncée ; elle est plus claire, au contraire, lorsqu'on chauffe seulement à 80 degrés pendant 3 heures, comme Eggertz l'avait indiqué d'abord.

tubes sont gradués par dixièmes de centimètre cube et les divisions sont d'égale hauteur, grâce à l'égalité des calibres. La comparaison se fait devant une glace dépolie, dans une chambre obscure ou, au moins, dans une cage demi-obscur.

Pour évaluer sans calcul la teneur de l'acier à examiner, on étend la dissolution de l'acier normal jusqu'à ce que 1 centimètre cube contienne 0^{mg},1 de carbone, (pour l'essai de produits très carburés, on fait en sorte que 1 centimètre cube renferme 0^{mg},5 de carbone), puis on étend la dissolution de l'acier à essayer, par addition répétée de petites quantités d'eau distillée et mélange des liquides jusqu'à ce que la teinte brune paraisse identique à celle de la solution normale. Le volume de la seconde fait immédiatement connaître le nombre de dixièmes de milligramme de carbone contenus dans 0^{gr},10 d'acier ou, en d'autres termes, la teneur en centièmes pour 100.

Par exemple, si l'acier normal contient 0,42 p. 100 de carbone, après l'attaque de 0^{gr},10 de métal, on étendra d'eau jusqu'à avoir 4^{cm³},2. Supposons que l'acier à essayer, traité de la même façon, donne une teinte identique, lorsque la solution occupe un volume de 5^{cm³},6; on en conclura immédiatement que sa teneur en carbone est 0,56 p. 100.

L'évaluation par le procédé Eggertz étant entièrement fondée sur la comparaison des teintes obtenues avec les aciers à essayer et avec un acier type, se trouve nécessairement entachée des erreurs du dosage fait sur cet acier type; il importe donc qu'il ait été fait dans les meilleures conditions possibles.

Il importe, d'autre part, que les aciers à comparer soient de teneurs aussi voisines que possible. De nombreux essais comparatifs par la méthode de Boussingault et par celle d'Eggertz ont montré à Deshayes que celle-

ci donne toujours des chiffres trop élevés pour les teneurs supérieures à celle de l'acier type et des chiffres trop bas pour celles qui sont inférieures; l'erreur peut être notable si l'on se sert d'un seul type, tel que l'acier à 0,50 p. 100.

Pour obtenir des nombres très voisins de la vérité, il est indispensable d'avoir une série de types avec des teneurs variées, telles que : 0,15; 0,30; 0,50; 0,75; 1 p. 100 et de comparer toujours les aciers à essayer aux types qui s'en rapprochent le plus.

La présence du *soufre* et celle du *silicium* paraissent être sans influence sur les résultats. Celle du *phosphore* et celle du *manganèse* ont pour effet de foncer la teinte de la solution et, par conséquent, de faire croire à une teneur trop élevée. Le manganèse arrivant parfois à des teneurs très notables, il conviendrait, pour les aciers de cette espèce, d'avoir des types spéciaux d'aciers manganésés.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue la remarque faite par Osmond que le carbone de recuit et le carbone de trempe des aciers ne donnent pas des résultats comparables par ce genre d'essais (*Annales des mines*, 1885, t. VIII). J'avais eu, de mon côté, occasion d'observer (*ibid.*, p. 22) que le même acier, pris successivement à l'état naturel, trempé et recuit, fournissant absolument le même résultat au premier et au troisième état, donne une teinte beaucoup plus claire dans le second, c'est-à-dire lorsqu'il est trempé; on serait donc porté à attribuer, par le procédé Eggertz, aux aciers trempés une carburation trop faible, ce qui paraît tenir à ce que le carbone de trempe forme avec l'acide azotique des solutions brunes peu stables, surtout à chaud (*ibid.*, p. 34).

Jusqu'à la teneur de 0,15 p. 100, la coloration de la solution azotique carburée est bien sensible sans être modifiée par celle de l'azotate de fer; mais, pour les fers

et les aciers très doux, à teneur plus basse, le même procédé ne convient plus. Stead a cherché à rendre la méthode colorimétrique applicable aux produits très peu carburés, en opérant sur une quantité dix fois plus grande, c'est-à-dire sur 1 gramme de matière et sur une égale quantité de métal type. Chacun est traité, dans une fiole de 200 centimètres cubes par 12 centimètres cubes (ou au plus 18 centimètres cubes) d'acide azotique ($d = 1,20$), à la température de 90 à 100°. La dissolution obtenue au bout de dix minutes est mêlée de 30 centimètres cubes d'eau chaude et au moins 13 centimètres cubes d'une solution de soude ($d = 1,27$), agitée, étendue à 60 centimètres cubes, bien secouée de nouveau et, après dix minutes de douce chaleur, versée sur un filtre sec et reçue dans un tube gradué.

L'oxyde de fer est ainsi éliminé et la combinaison est dissoute dans la solution de soude, qui est colorée à la façon de la solution azotique et même avec plus d'intensité.

Les deux solutions sont amenées à des teintes aussi égales que possible, et on compare leurs hauteurs, qui sont en raison directe des teneurs en carbone :

$$t' = t \times \frac{h}{h'}$$

A l'usine du Creusot, on fait une prise d'essai s'élevant à 0^{gr},500 pour les aciers, à 0^{gr},100 pour les fontes, que l'on attaque dans le premier cas par 25 centimètres cubes et dans le second par 15 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,20$). On étend constamment à 50 centimètres cubes avec de l'eau et l'on filtre après complet refroidissement. On établit en même temps, pour la comparaison des teintes, une véritable échelle colorimétrique, dont les degrés d'intensité correspondent à des écarts de 5 dix-millièmes sur la teneur en carbone de l'acier soumis à l'essai. Cette échelle est obtenue en attaquant un poids

de l'acier-type, tel que le produit de ce poids par la teneur en carbone, déterminée à l'aide de la méthode Bous-singault, donne un chiffre de carbone total simple et peu élevé : 2^{mg},5, 5^{mg}, 10 milligrammes. Ce poids d'acier, dissous dans 50 centimètres cubes d'acide azotique, fournit une liqueur plus ou moins brune, dont chaque centimètre cube correspond respectivement à 0^{mg},05, 0^{mg}.10 et 0^{mg},20 de carbone. Ces différentes liqueurs servent à l'établissement de l'échelle colorimétrique, dont il est question ci-dessus ; si nous prenons comme exemple la solution dont l'intensité correspond à 0^{mg},10 de carbone par centimètre cube, nous voyons que, par dilutions successives, il sera possible d'établir l'échelle suivante :

45 ^{cm3} d'eau +	5 ^{cm3} de liqueur type	correspondent à un acier à 0,10 p. 100 de C.	
42,5	— + 7,5	—	— 0,15
40	— + 10	—	— 0,20
37,5	— + 12,5	—	— 0,25
"	"	"	"
10	— + 40	—	— 0,80
5	— + 45	—	— 0,90

Pour la lecture, les verres types sont placés en ordre devant une glace dépolie, orientée au nord dans une salle un peu sombre. On promène devant l'échelle chacun des essais, auxquels on attribue les teneurs en carbone des solutions qui leur correspondent. Les teintes intermédiaires sont estimées au jugé par l'opérateur. Cette modification du procédé Eggertz est assez commode, elle convient surtout aux laboratoires qui ont un grand nombre d'essais à mener de front.

Quelques auteurs ont cherché à éviter l'inconvénient dû à la décomposition rapide des solutions types en établissant des liqueurs, dont la teinte brune est obtenue à l'aide de sucre brûlé, de café ou par un mélange de proportions définies de différents sels à coloration fixe ; nous signalerons particulièrement dans ce sens la solution proposée par Ekman et dont voici la préparation. On dis-

sont 3 grammes de chlorure neutre de fer dans 100 centimètres cubes d'eau contenant 1^{cm^3} ,5 d'acide chlorhydrique, 2^{gr} ,100 de chlorure de cuivre dans 100 centimètres cubes d'eau contenant 5 centimètres cube d'acide chlorhydrique et 2^{gr} ,100 de chlorure de cobalt dans 100 centimètres cubes d'eau contenant 5 centimètres cubes du même acide. En ajoutant, à 8 centimètres cubes de la solution de fer, 6 centimètres cubes de la solution de cobalt, 3 centimètres cubes de celle de cuivre et 5 centimètres cubes d'eau contenant 0,5 p. 100 d'acide chlorhydrique, on obtient une liqueur possédant une teinte analogue à celle qui serait fournie par la dissolution dans l'acide azotique de 200 milligrammes d'acier à 1 p. 100 étendue à 10 centimètres cubes, c'est-à-dire une liqueur équivalente à celle qui contiendrait 0^{mg} ,2 de carbone par centimètre cube. Par dilutions successives de cette solution normale avec de l'eau contenant 5 p. 100 d'acide chlorhydrique, on obtiendra les diverses intensités de l'échelle colorimétrique.

Cette préparation de liqueurs colorées, absolument repoussée par Parry et Morgan (*Industries*, 24 fév. 1893), est restée peu usitée.

DOSAGE DU SILICIUM.

Lorsqu'on attaque la fonte par l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique, une partie du silicium reste dissoute à l'état de silice et à l'état d'oxyde inférieur (capable de donner naissance à un dégagement d'hydrogène, si on le chauffe avec un alcali); la quantité qui entre en solution est variable avec le degré de concentration de l'acide et la proportion d'eau employée au lavage (H. Allen, Th. Drown). Il est donc indispensable d'oxyder entièrement le silicium et de rendre la silice insoluble, avant de cher-

cher à la séparer par lavage des sels de fer et autres composés solubles. Ce seront les conditions indispensables pour un bon dosage du silicium. Par voie sèche, le chlore ou l'acide chlorhydrique donnerait naissance à des chlorures de silicium gazeux, si le silicium n'était pas préalablement oxydé.

I. — Voie sèche.

A. — Oxydation par l'air au rouge, volatilisation du fer à l'état de chlorure.

Cette méthode, donnée par Boussingault (*Ann. de chimie et de physique*, 1871), a l'avantage de mettre complètement à l'abri des erreurs provenant de l'attaque des vases de verre ou de porcelaine par les acides.

Le métal, réduit en limaille ou en copeaux minces et pesé (1 gramme de fonte grise, 2 ou 3 grammes de fer, acier ou fonte blanche), est placé dans une nacelle de platine, puis chauffé dans le moufle. Le silicium s'oxyde peu à peu par le contact de l'air au rouge, en même temps que le fer et les autres éléments qu'il renferme.

Au bout de deux ou trois heures, l'oxydation étant terminée, on dispose la nacelle dans un tube de platine ou de porcelaine chauffé sur une grille et communiquant, d'un côté avec un appareil dégageant de l'acide chlorhydrique gazeux (NaCl fondu et SO^{H^2}), très bien desséché au moyen d'acide sulfurique, de l'autre côté avec un ballon tubulé, dont le col tourné vers le bas et effilé, plonge dans l'eau d'un flacon, à quelques millimètres au-dessous de la surface.

Le tube étant chauffé au rouge, le courant d'acide chlorhydrique sec, qu'on entretient aussi régulier que possible, transforme l'oxyde de fer en chlorure, qui se volatilise et va se condenser sur les parties froides du

tube et dans le ballon, sous forme d'aiguilles entrelacées. On suit, par l'aspect du ballon, les progrès de l'opération et, quand on la juge terminée, on arrête le courant gazeux, on laisse refroidir le tube et l'on retire la nacelle, sauf à la replacer et à continuer, s'il reste de l'oxyde de fer non chloruré.

La silice, formée préalablement par oxydation, n'est pas attaquée, tandis que, si l'on soumettait le métal naturel au courant d'acide chlorhydrique gazeux ou bien à un courant d'air et d'acide chlorhydrique, une grande partie du silicium serait volatilisé à l'état de chlorure de silicium.

La silice obtenue est blanche et très légère, conservant la forme du métal soumis à l'oxydation, fragments de fonte, fil de fer replié sur lui-même, etc. A cause de cette ténuité du résidu, facile à entraîner par les courants gazeux, il importe d'avoir un dégagement lent et régulier d'acide chlorhydrique et ensuite d'enfermer la nacelle dans un tube de verre pour faire la pesée.

On s'assure de la pureté de la silice en versant dans la nacelle un peu d'acide fluorhydrique, avec une goutte d'acide sulfurique et chauffant. La silice disparaît et ne laisse comme résidu que les substances étrangères : ce sont souvent des matières terreuses, provenant de scories empâtées dans le métal, du phosphate de fer parfaitement blanc et inattaquable à l'acide fluorhydrique, ou encore, avec certains produits spéciaux, un peu d'alumine, d'oxyde de chrome ou d'acide titanique. Lorsque le résidu n'est pas négligeable, on le pèse, pour avoir, par différence, le poids de la silice, p ; la teneur en silicium, pour 100, est donc :

$$\text{Si} = 46,67 \frac{p}{n}.$$

Le résidu peut servir à la recherche qualitative des éléments étrangers.

Lorsque l'on a affaire à une fonte phosphoreuse, l'oxydation en est difficile dans le moufle, parce qu'elle se ramollit, se grille mal et attaque la nacelle de platine. Il est alors préférable d'opérer l'oxydation par un peu d'acide azotique, puis d'évaporer et de calciner dans une nacelle de platine. On continue de même par la chloruration. Mais la présence du phosphate de fer constitue encore une gêne et il vaut mieux, dans ce cas, opérer par voie humide.

B. — L'attaque du fer en copeaux (1 gramme) par fusion au rouge sombre dans un creuset de platine avec du bisulfate de potasse (25 grammes), suivie de l'enlèvement du culot au moyen d'un gros fil de platine recourbé dans la masse fondue et du traitement ultérieur par l'acide chlorhydrique et l'eau chaude (Th. Drown), fournit des résultats irréguliers. La méthode est rapide, mais ne peut servir que pour des essais approchés; encore faut-il s'assurer si le bisulfate de potasse ne renferme pas de silice et le purifier, s'il y a lieu, par plusieurs cristallisations successives.

II. — Voie humide.

A. — *Emploi de l'acide sulfurique* (Th. Drown et P. Shimer).

On traite le métal en grains ou en tournures (1 gramme de fonte grise, 2 ou 3 grammes d'acier, de fer ou de fonte blanche) par l'acide azotique ($d=1,20$) ajouté peu à peu dans une capsule de platine(*); on emploie environ 20 centimètres cubes d'acide pour chaque gramme de

(*) On a coutume d'employer la porcelaine; mais il y a là une cause d'erreur sensible. Nous nous sommes assuré par plusieurs essais qu'en opérant de la même façon sur le même acier, comparativement dans la porcelaine et dans le platine, on trouve

métal. Lorsque l'attaque est devenue complète à l'ébullition sur le bain de sable, on laisse refroidir et on verse de l'acide sulfurique pur, dans la proportion de 5 centimètres cubes d'acide concentré pour chaque gramme de métal, après l'avoir mêlé à trois fois son volume d'eau. On chauffe au bain de sable jusqu'à expulsion complète de l'acide azotique et apparition de vapeurs assez abondantes d'acide sulfurique.

On laisse refroidir, on reprend par de l'eau et on chauffe pour obtenir la dissolution du sulfate de peroxyde de fer; on décante la liqueur chaude sur un filtre en papier pur (lavé à l'acide fluorhydrique et à l'acide chlorhydrique afin d'enlever la silice et la chaux, filtre Berzélius suédois, marque Munktell, ou filtre Schleicher). On traite le résidu par 25 à 30 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur ($d = 1,20$) et on lave de nouveau avec de l'eau pure et bien chaude.

La silice hydratée ainsi obtenue ne contient ni phosphate de fer, ni alumine, ni acide titanique, qui sont restés dissous dans la liqueur sulfurique. Elle peut être encore colorée par le carbone et par quelque peu de platine. Après calcination, elle doit être pesée, puis traitée par quelques gouttes d'acide fluorhydrique pur; le résidu est calciné et pesé de nouveau. La différence fait connaître le poids de la silice et, par suite, celui du silicium en multipliant par 0,4667.

Cette méthode est assez simple et assez rapide; elle donne des résultats très satisfaisants, à la condition que l'on n'ait pas négligé de chasser tout l'acide azotique par évaporation; car, à défaut de ce soin, il y aurait perte importante de silice restée dissoute dans les liqueurs acides.

plus de silice dans le premier cas que dans le second. La différence n'est pas négligeable; elle variait, dans nos expériences, de 1 à 2 milligrammes et peut-être évaluée, en moyenne, à $1^{\text{ms}} 1/2$.

B. — *Emploi des acides azotique et chlorhydrique.*

On met dans une capsule de porcelaine un peu grande (*) les grenailles ou tournures de métal (depuis 2 grammes jusqu'à 10 grammes, si l'on suppose qu'il y ait peu de silicium, ou si l'on veut faire d'autres recherches, soit sur la dissolution, soit sur le résidu), on y ajoute peu à peu depuis 30 jusqu'à 120 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,20$), mêlé avec une égale quantité d'eau, en ayant soin de recouvrir le vase avec une lame de verre, afin d'éviter les pertes par projection de gouttelettes liquides.

On complète l'attaque en chauffant doucement à ébullition, puis on évapore jusqu'à sec. Il est bon d'ajouter, vers la fin, environ 5 grammes d'azotate d'ammoniaque et, lorsqu'on est arrivé à sec sur le bain de sable, de calciner légèrement, de manière à décomposer le nitrate de fer et à brûler toute la matière organique provenant du carbone dissous ou combiné dans le métal. On reprend alors par l'acide chlorhydrique pour redissoudre tout l'oxyde de fer. Lorsque ce résultat a été atteint, on ajoute de l'eau, on chauffe, puis on laisse déposer et on décante le liquide sur un petit filtre en papier Schleicher; on lave bien avec de l'eau et on reçoit la silice sur le filtre.

Elle retient ordinairement un peu d'oxyde de fer avec du graphite et elle peut contenir de l'acide titanique, si l'on est parti d'une fonte renfermant du titane.

(*) On ne peut éviter ici l'emploi de la porcelaine (à cause de l'eau régale) et par conséquent une surcharge en silice résultant d'une attaque de la couverte siliceuse par les acides. On pourra en tenir compte approximativement en retranchant du poids trouvé pour la silice environ $1^{\text{ms}} 1/2$ ou mieux la quantité déterminée par l'opérateur lui-même en comparant les résultats de la méthode A et ceux de la méthode B avec la même nature de porcelaine.

On mêle la matière recueillie sur le filtre, après dessiccation, avec deux ou trois fois son poids de carbonate de soude pur et un peu de nitre; on fond dans un petit creuset de platine; on reprend par l'acide azotique étendu, on fait passer dans une capsule de porcelaine, on évapore à sec avec de l'acide chlorhydrique, on reprend par le même acide et on a, comme résidu, de la silice très blanche, qu'on recueille, calcine et pèse avec les précautions ordinaires.

Cette silice renferme encore l'acide titanique, si le métal était titanifère; on les sépare alors en chauffant le produit calciné et pesé avec de l'acide sulfurique concentré, puis laissant refroidir, versant, par petites quantités, dans de l'eau froide et filtrant pour séparer la silice.

Par ébullition du liquide filtré avec de l'ammoniaque, on précipite l'acide titanique, qu'on recueille sur un petit filtre; on calcine et pèse pour corriger le poids de la silice et pour calculer le titane :

$$\text{Ti} = 0,6097 \text{TiO}_2$$

Cette méthode, plus longue que la précédente, a, de plus, l'inconvénient de donner dans le dosage de la silice une surcharge, dont il faut tenir compte; mais elle a l'avantage de permettre de doser le titane en même temps que le silicium. On peut aussi utiliser la solution chlorhydrique pour la recherche des autres éléments combinés au fer.

DOSAGE DU PHOSPHORE.

L'attaque des fontes et fers phosphoreux par l'acide chlorhydrique donne lieu à un dégagement d'hydrogène phosphoré gazeux, que l'on pourrait arrêter par différents réactifs; mais le dégagement est toujours incomplet. La méthode doit donc être écartée.

L'attaque par l'eau régale donne lieu à une perte plus ou moins sensible, par volatilisation d'une combinaison phosphorée; en outre, elle ne détruit pas la matière organique provenant du carbure de fer, qui empêche la précipitation du phosphore à l'état de phosphomolybdate d'ammoniaque d'être complète. Il faut donc éviter aussi ce mode d'attaque.

On est conduit par conséquent à employer l'acide azotique seul. Après l'attaque, on pourra brûler la matière organique dissoute soit par une calcination à température un peu élevée du résidu de l'évaporation, soit par l'emploi de l'acide chromique en liqueur concentrée. La précipitation du phosphomolybdate se fait bien en liqueur azotique ou sulfurique, moins bien en présence de l'acide chlorhydrique. Enfin, le dosage est plus précis sous la forme de phosphomolybdate desséché (coefficient = 0,0163) que sous celle de pyrophosphate de magnésie (coefficient = 0,2793), du moins lorsque la proportion de phosphore est très faible. Ces différentes considérations nous ont conduit à proposer, surtout pour les produits très peu phosphoreux, comme les aciers et les fers, une nouvelle méthode, qui sera indiquée plus loin et qui nous a paru fournir les résultats les plus réguliers et les plus sûrs parmi les méthodes pondérales; elle peut, d'ailleurs, être transformée en une méthode volumétrique.

Méthodes pondérales.

A. — *Dosage à l'état de phosphomolybdate.*

La méthode suivante est employée dans plusieurs usines, notamment au Creusot. Dans un verre de Bohême, de 7 millimètres de hauteur, on attaque par l'acide azotique ($d = 1,20$) soit 1 gramme de métal, soit 0^{gr},500, 0^{gr},200 ou 0^{gr},100, suivant la teneur supposée en phosphore. L'attaque terminée, on ajoute

5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, puis on évapore à sec, pour rendre la silice insoluble, on reprend par de l'eau régale (3 centimètres cubes d'acide azotique et 3 centimètres cubes d'acide chlorhydrique); on chauffe à l'ébullition, en couvrant le vase d'un verre de montre; on ajoute 8 à 10 centimètres cubes d'eau, et, la dissolution finie, on fait passer sur un filtre sans pli. La liqueur est reçue dans une dissolution azotique de molybdate d'ammoniaque préparée à l'avance; on lave le filtre une ou deux fois seulement avec de l'eau acidulée à 1/200 d'acide nitrique, de manière que le volume de liqueur ne dépasse pas 25 centimètres cubes.

On chauffe trois heures au bain-marie vers 42° à 45°. Le précipité de phosphomolybdate est recueilli sur un filtre double, desséché préalablement et exactement taré; on lave le précipité et le filtre trois fois avec de l'eau à 2 p. 100 d'acide azotique, on sèche à l'étuve à 100 degrés. Quand le filtre commence à prendre une teinte bleuâtre, on pèse et on multiplie par $\frac{1,63}{n}$ pour avoir la teneur en phosphore pour 100 (n représentant le nombre de grammes de métal mis en expérience).

Cette méthode, où l'on a recherché la plus grande simplicité possible, n'évite pas les causes d'erreur que j'ai signalées au début: influence de la matière organique provenant du carbone, influence de l'acide chlorhydrique, entraînement d'oxyde de fer avec le précipité, irrégularité de la composition de ce précipité.

Après avoir reconnu ces inconvénients, le laboratoire de l'École des ponts et chaussées a renoncé à employer cette méthode et adopté celle qui suit.

B. — Dosage à l'état de pyrophosphate de magnésie.

Le métal est attaqué de la même façon par l'acide azotique et l'acide chlorhydrique; puis on évapore à sec

et on reprend par l'eau régale, de manière à laisser la silice insoluble.

La liqueur est saturée par l'ammoniaque et portée à l'ébullition. Le précipité volumineux d'hydrate ferrique entraîne la totalité de l'acide phosphorique. Après l'avoir recueilli et séché, on le calcine avec du sulfate de soude pendant dix minutes à la température du soufflet d'émailleur. La quantité de sulfate de soude doit être suffisante pour que la masse entière soit bien imprégnée. De nombreux essais synthétiques ont montré que l'acide phosphorique, dans ces conditions, passe entièrement à l'état d'orthophosphate de soude.

Il faut alors dissoudre les sels alcalins dans l'eau, en employant au lavage la plus faible quantité d'eau possible. Après filtration, on procède à la précipitation de l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. On recueille, calcine et pèse le précipité et on a la teneur en centièmes en multipliant par 27,93. L'opération est longue et, si elle échappe aux inconvénients de la méthode précédente, elle ne se prête pas non plus à une bien grande précision dans l'estimation des faibles quantités de phosphore.

C. — Méthode de Boussingault et Müntz.

Une méthode analogue avait été recommandée, dès 1875, par Boussingault (*Études sur la transformation du fer en acier*), d'après les expériences faites dans son laboratoire par A. Müntz.

Après attaque de 1 gramme d'acier par l'acide azotique, évaporation et calcination au rouge sombre, la matière est broyée avec 8 grammes de carbonate de soude pur et sec, puis le mélange remis dans la capsule de platine, qui a servi à l'attaque, et fondu au rouge blanc sur un fort bec Bunsen. Après vingt ou vingt-cinq minutes de bonne fusion, pendant lesquelles on remue sou-

vent avec un fil de platine, la masse refroidie est concassée et lavée à l'eau bouillante.

La liqueur, contenant tout le phosphore à l'état de sel alcalin, est séparée du fer par filtration, puis acidifiée par l'acide nitrique et évaporée à sec pour isoler la silice. On redissout par 50 centimètres cubes d'eau contenant un demi-centimètre cube d'acide nitrique; on filtre et on lave avec très peu d'eau, puis on ajoute 2 centimètres cubes de la solution acide de molybdate d'ammoniaque préparée suivant les indications d'Eggertz.

Le précipité jaune, dont on favorise le dépôt en maintenant la liqueur à 50 ou 60°, est recueilli au bout de douze heures sur un filtre taré, lavé avec de l'eau contenant 1/100 d'acide nitrique, séché un peu au-dessous de 100° et pesé; 100 de précipité correspondent à 1,63 de phosphore.

Dans le cas seulement d'un métal très phosphoreux, on redissout le molybdate dans l'ammoniaque et on ajoute à la solution peu étendue un peu de chlorure de magnésium, afin de former du phosphate ammoniacomagnésien. On pèse après calcination le pyrophosphate de magnésie, qui, pour 100, renferme 27,94 de phosphore. Le défaut de sensibilité de ce dosage oblige à opérer sur plusieurs grammes de métal. Encore ne peut-on compter que sur une certaine approximation, malgré la longueur des opérations.

D. — Méthode de Ad. Carnot (*).

On opère sur une prise d'essai de 5 grammes pour les fers, les aciers ou les fontes pures; il suffit de 1 gramme ou même 0^{sr},500 pour les fontes phosphoreuses.

Le métal est attaqué par 40 centimètres cubes d'acide

(*) *Annales des mines*, 2^e vol. de 1893, p. 1.

nitrique pur dans une capsule de porcelaine ou une capsule de platine suffisamment grande, qu'on recouvre aussitôt d'un entonnoir renversé, afin d'éviter les projections de gouttelettes liquides. Quand l'effervescence s'arrête, on chauffe doucement pour compléter l'attaque et on lave l'entonnoir avec un peu d'eau, qu'on reçoit dans la capsule. On y verse, tout en agitant le liquide avec une baguette de verre, 10 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré (2 centimètres cubes par gramme de métal). Il se produit un magma volumineux qui se redissout par l'agitation et la chaleur. On évapore doucement soit sur un petit brûleur à couronne, en remuant constamment pendant un quart d'heure, soit au bain de sable en laissant chauffer pendant un temps plus long; la masse devient bientôt pâteuse, puis se dessèche et se réduit en grumeaux faciles à écraser avec la baguette.

On porte à l'étuve et on maintient à une température de 120 à 125 degrés pendant deux heures, de manière à chasser entièrement l'acide azotique et à rendre la silice bien insoluble dans toute la masse. On redissout ensuite par 50 centimètres cubes environ d'eau bouillante et on lave avec une égale quantité d'eau sur un filtre, en recevant les liquides dans une fiole d'un demi-litre.

La silice reste sur le filtre; elle est habituellement colorée en noir ou en gris par le graphite et peut être mêlée de peroxyde de manganèse.

On dissout ce dernier, au-dessus d'une autre fiole, par un peu d'acide chlorhydrique concentré (ou par quelques centimètres cubes d'un mélange d'acide azotique et d'eau oxygénée) et on lave à l'eau chaude. On calcine, pour brûler le graphite, et on pèse la silice, qui est devenue blanche. Ce poids, multiplié par le coefficient 0,4667, fournit un bon dosage du *silicium*, comme dans la méthode de Drown et Shimer, en observant les précautions suivantes :

Si l'on a employé une capsule de porcelaine, il convient de retrancher 1^{me} 1/2 du poids trouvé pour la silice. Si l'on s'est servi d'un vase de platine, il faut, après calcination et pesée, traiter le résidu par un peu d'acide fluorhydrique pur, évaporer, calciner et peser de nouveau; la différence des deux pesées donne le poids de la silice SiO_2 , comme nous l'avons dit page 414.

Le liquide filtré contient des composés organiques, provenant de la transformation du carbure de fer sous l'action des acides, qui pourraient gêner la précipitation de l'acide phosphorique. Pour brûler la matière organique, on ajoute environ 1 gramme d'acide chromique (*), et on chauffe pendant une demi-heure à la température d'ébullition. Cette opération a, de plus, pour objet de ramener à l'état d'acide orthophosphorique le peu d'acide pyrophosphorique qui aurait pu se former pendant l'évaporation à sec.

On ajoute à la liqueur, réduite à 40 centimètres cubes environ, 4 grammes de sulfate d'ammoniaque, puis on y verse 50 centimètres cubes de la solution molybdique à 5 p. 100 environ, préparée comme de coutume (**), et on maintient à 100 degrés pendant une heure au moins, temps nécessaire pour que la précipitation soit bien complète. On laisse reposer et refroidir, afin de ne pas risquer d'introduire de matière organique dans la liqueur par l'action de l'acide azotique chaud sur le papier, puis on

(*) On pourrait employer, comme oxydant, le permanganate de potasse, mais à la condition de terminer le dosage par une détermination volumétrique et non par une pesée du phosphomolybdate d'ammoniaque, qui pourrait contenir de la potasse.

(**) La solution molybdique se prépare en dissolvant dans l'eau 150 grammes de molybdate d'ammoniaque cristallisé, étendant à 1 litre, puis versant dans 1 litre d'acide nitrique à 1,20 de densité, laissant trois ou quatre jours à la température de 60 degrés et séparant le dépôt par décantation, pour ne se servir que de la liqueur claire.

décante le liquide sur un filtre et on lave le dépôt dans la fiole avec de l'eau tiède additionnée d'un vingtième de son volume de la solution molybdique, jusqu'à ce que le liquide versé sur le filtre ne se colore plus que très faiblement en rose par le sulfocyanure d'ammonium, c'est-à-dire ne contienne plus que des traces négligeables de fer.

En même temps, on s'assure que la solution, portée de nouveau à 100 degrés pendant une heure, ne fournit pas d'autre dépôt de phosphomolybdate (*).

On dissout alors le précipité dans la fiole par la moindre quantité possible, 15 centimètres cubes par exemple, d'ammoniaque étendue de son volume d'eau chaude, et, plaçant sur un petit matras de 150 centimètres cubes l'entonnoir avec le filtre sur lequel on avait décanté la liqueur acide, on y fait passer la solution ammoniacale, on lave la fiole et le filtre avec 50 centimètres cubes d'eau bouillante, un peu ammoniacale, en s'aidant de la trompe.

Le filtre a pu retenir de petites quantités d'hydrate et de phosphate ferrique; on les redissoudra plus tard par quelques gouttes d'acide nitrique étendu et chaud, que l'on ajoutera à la liqueur acide.

La solution ammoniacale, filtrée et refroidie, est peu à peu neutralisée par l'acide azotique, en évitant que la température s'élève au-dessus de 40 degrés; lorsqu'il commence à se former un précipité jaune, que l'agitation ne redissout pas, on ajoute, en surplus, 2 centimètres cubes d'acide nitrique pur et la petite quantité d'acide dilué qui a servi à laver le filtre. On abandonne deux

(*) Il se produit souvent, en faible quantité, un dépôt d'acide molybdique, d'aspect plus cristallin, qui se dissout lentement dans l'ammoniaque étendue et froide et n'est pas précipité de nouveau, lorsqu'on acidifie la liqueur par l'acide nitrique à la température de 40 degrés.

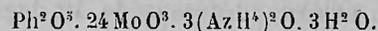
heures à la température de 40 degrés environ pour la précipitation du phosphomolybdate d'ammoniaque.

Le liquide est alors décanté sur un filtre taré et remplacé par de l'eau acidulée avec 1 p. 100 d'acide azotique. On y ajoute un peu de solution molybdique et on laisse pendant une heure, pour s'assurer qu'il ne se fait pas de dépôt.

Après deux ou trois lavages, on fait passer le précipité sur le filtre, on le lave à la trompe avec un peu d'eau distillée, on le sèche à l'étuve à 100 degrés et on le pèse dans un petit flacon spécial à large ouverture, où le filtre, bien que devenu un peu cassant, puisse entrer sans se briser.

Par cette seconde précipitation de phosphomolybdate d'ammoniaque, dans des conditions de température et d'acidité bien définies, on obtient un produit de composition constante, exempt de fer et sans excès d'acide molybdique, ce qu'on ne pourrait avoir régulièrement par la première précipitation, faite à température plus élevée, en présence d'un assez grand excès de liqueur molybdique et d'une grande quantité de sels de fer.

Le poids du phosphore contenu s'obtient en multipliant le poids du précipité desséché par le coefficient 0,01628, la formule de composition du précipité étant, d'après nos expériences :



La teneur, pour 100, en phosphore est donc :

$$\text{Ph} = 1,628 \frac{p}{n}.$$

Méthode volumétrique.

Lorsqu'on a suivi la méthode précédente jusqu'à la seconde précipitation du phosphomolybdate, on peut remplacer le dosage pondéral par un dosage volumétrique

basé sur la réduction de l'acide molybdique à un état inférieur d'oxydation par l'emploi du zinc et de l'acide sulfurique, suivie d'une oxydation nouvelle effectuée à l'aide d'une solution de permanganate de potasse titré (Pisani, 1864).

Le précipité doit être bien lavé d'abord avec de l'eau tenant 1 p. 100 d'acide nitrique, puis avec une solution neutre d'azotate de potasse et enfin avec de l'alcool, pour enlever tout l'acide nitrique. On le dissout dans 30 centimètres cubes d'ammoniaque diluée au quart et on fait passer la liqueur dans un ballon de 500 centimètres cubes, où l'on a versé environ 10 grammes de tournure de zinc pur. (S'il renfermait du fer, comme cela est fort habituel, il faudrait en tenir compte par une opération spéciale, faite à blanc sur 10 grammes du même zinc, en retranchant, par la suite, du volume de permanganate employé, celui qui est décoloré par le fer du réactif.) On ajoute à la solution ammoniacale 80 centimètres cubes d'acide sulfurique également dilué au quart et l'on chauffe avec précaution pendant quinze minutes environ pour faciliter la réduction, temps après lequel on fait passer la solution à travers un filtre à plis, assez grand pour que la filtration se produise rapidement. On lave à plusieurs reprises avec de l'eau froide le filtre et la fiole où la réduction s'est produite; on obtient une solution de teinte vineuse, dont le volume peut s'élever à 400 ou 500 centimètres cubes, qu'on titre à l'aide du permanganate de potasse. Sous l'influence du réactif oxydant, la teinte s'atténue graduellement, le liquide devient incolore, puis prend une coloration rose très nette, dès qu'une goutte de permanganate est ajoutée en excès.

D'après les expériences de Werncke (1875), l'acide molybdique serait réduit, non pas jusqu'à la composition du sesquioxyde Mo^2O^3 , mais seulement jusqu'à $\text{Mo}^{12}\text{O}^{19}$. Les résultats seraient d'ailleurs très concordants.

Sans recourir à la formule de réaction, dont les coefficients ne sont pas simples (*), on titrera le permanganate en réduisant par le même procédé un poids connu de phosphomolybdate, séché à 100 degrés, soit par exemple 307 milligrammes, correspondant à 5 milligrammes de phosphore.

RECHERCHE DU PHOSPHORE, DE L'ARSENIC
ET DU CUIVRE.

Si le métal renferme de l'arsenic avec le phosphore, ce qui se présente assez rarement, il convient de modifier la marche de l'opération, afin de séparer l'arsenic dès le début et d'éviter qu'il puisse être entraîné partiellement dans la précipitation du phosphomolybdate.

On opère sur 5 ou 10 grammes de métal, à cause de la faible proportion d'arsenic.

Après attaque par l'acide azotique, expulsion de ce réactif par l'acide sulfurique, reprise par l'eau et filtration, comme dans le cas précédent, on peut calciner le résidu et peser la *silice*.

On fait passer dans la solution étendue, chauffée vers 70 degrés, un courant d'acide sulfureux, qui ramène les composés de fer, de cuivre et d'arsenic au minimum d'oxydation, puis, quand toute odeur d'acide sulfureux a disparu, on fait arriver dans le liquide un courant d'acide sulfhydrique, qui précipite lentement, mais entièrement l'arsenic et le cuivre à l'état de sulfures. Lorsque le précipité s'est déposé, on filtre et on lave à l'eau chaude, pour chercher dans le dépôt l'*arsenic* et le *cuivre*.

On fait bouillir la solution pour chasser l'hydrogène

(*) D'après Emmerton, cité par Blair : $5\text{Mo}^{12}\text{O}^{10} + 34\text{KMnO}^4 = 60\text{MoO}^3 + 17\text{K}^2\text{O} + 34\text{MnO}$.

sulfuré; on y ajoute un peu de perchlorure de fer (0^{gr},50 par exemple), puis on sature en grande partie l'acide par du carbonate de soude pur, on y verse une quantité un peu grande d'acétate de soude et on fait bouillir. La totalité de l'acide phosphorique est précipitée à l'état de phosphate ferrique, le surplus du peroxyde de fer à l'état d'acétate basique; après dix minutes d'ébullition, on laisse déposer et on fait passer sur un filtre, d'abord la liqueur, puis le précipité, qu'on lave avec de l'eau chaude contenant un peu d'acétate d'ammoniaque. Le précipité renferme, avec une quantité modérée d'oxyde de fer, tout l'*acide phosphorique* qu'il s'agit de doser.

Si rien ne fait supposer dans le métal à analyser la présence de métaux terreux, aluminium ou chrome, et que, par conséquent, on n'ait pas à craindre la présence de leurs oxydes dans le précipité, on pourra faire assez simplement ce dosage en redissolvant le précipité sur le filtre par l'acide chlorhydrique étendu et chaud, puis neutralisant par l'ammoniaque et ajoutant du sulfhydrate d'ammoniaque, qui fait déposer le fer seul à l'état de sulfure. Lorsque la liqueur surnageante est devenue jaune, on filtre et on lave le précipité avec de l'eau légèrement sulfhydratée; puis, dans la liqueur, on ajoute de l'ammoniaque et un peu de mixture magnésienne (100 gr. chlorure de magnésium, 150 gr. sel ammoniac pur, 1.200 cm³ eau distillée, 700 cm³ ammoniaque à 22 degrés). La fiole est agitée, puis bouchée; il se fait du phosphate ammoniaco-magnésien, dont le dépôt est ordinairement complet en deux ou trois heures. On le reçoit alors sur un petit filtre en papier Munkhtell ou Schleicher, laissant par calcination un poids de cendres très petit et connu (0^{gr},002 en général). On lave avec soin avec de l'eau ammoniacale au 1/50^e, puis on sèche à 100 degrés, on brûle d'abord devant le moufle, puis au fond du moufle à haute température et on pèse le pyro-

phosphate de magnésie (p). Désignant par n le poids en grammes du métal mis en expérience, la teneur pour 100 en phosphore est exprimée par :

$$\text{Ph} = 27,93 \frac{p}{n}$$

Si le métal renferme de l'aluminium ou du chrome, il importe d'empêcher la précipitation de phosphate d'alumine ou de chrome par l'ammoniaque et le sulfhydrate d'ammoniaque; on y réussit en ajoutant un peu d'acide tartrique ou d'acide citrique avant de neutraliser la liqueur acide. On achève ensuite le dosage de la même façon.

On peut aussi, après avoir séparé la silice et l'arsenic et concentré le phosphore dans une petite quantité de sel basique de fer, redissoudre celui-ci sur le filtre par l'acide azotique, saturer l'acide par l'ammoniaque, redissoudre par le même acide en très faible excès et déterminer la précipitation de l'acide phosphorique par le nitromolybdate en présence de l'azotate d'ammoniaque formé dans la liqueur. On achève alors comme dans le premier cas le dosage à l'état de phosphomolybdate.

Cette dernière méthode mérite la préférence, si la quantité de phosphore est très petite; la première s'applique plutôt au cas où elle est un peu notable.

Le précipité formé par l'hydrogène sulfuré dans la liqueur sulfurique contient tout l'*arsenic* (et, en même temps, tout le *cuivre*, s'il y en avait dans le métal à essayer) avec une assez grande quantité de soufre.

On peut enlever la majeure partie du soufre par le sulfure de carbone après dessiccation complète, puis traiter le résidu par l'acide azotique fumant, à l'ébullition, ou par l'eau régale, en chauffant très doucement, filtrer et précipiter l'acide arsénique par l'ammoniaque et la mixture magnésienne; le précipité est desséché lentement,

calciné avec précaution, puis pesé. On arrive mieux encore en calcinant progressivement le précipité bien desséché dans un courant lent d'oxygène, afin d'éviter toute réduction de l'arséniate (Frésenius). La teneur, pour 100, est :

$$\text{As} = 48,39 \frac{p}{n}$$

Le cuivre peut être évalué d'après l'intensité de la coloration bleue de la liqueur ammoniacale. Si la teinte est trop forte, ce qui indique une proportion notable de cuivre, on acidifie la liqueur par l'acide chlorhydrique, on précipite par l'hydrogène sulfuré et on pèse, après avoir calciné en creuset fermé avec un peu de soufre :

$$\text{Cu} = 79,85 \frac{p}{n}$$

On peut également mettre le précipité de soufre, sulfure d'arsenic et sulfure de cuivre en digestion dans le carbonate d'ammoniaque et, au bout d'une heure, filtrer et décomposer le carbonate par l'acide chlorhydrique, qui détermine un précipité jaune de sulfure d'arsenic. Celui-ci est reçu et lavé sur un filtre taré, puis séché et pesé :

$$\text{As} = 60,97 \frac{p}{n}$$

Le sulfure de cuivre, resté dans le précipité, est dissous par l'eau régale; on peut ensuite, dans la solution étendue, soit précipiter le sulfure de cuivre par l'hydrogène sulfuré et le doser comme précédemment, soit précipiter l'oxyde de cuivre à l'état d'hydrate par une lessive pure de potasse ou de soude sans excès, faire bouillir, puis filtrer, laver, calciner et peser l'oxyde CuO :

$$\text{Cu} = 78,85 \frac{p}{n}$$

Dosage de l'arsenic à l'état d'arséniate de bismuth.

Le dosage de l'arsenic laisse à désirer au point de vue de l'exactitude, soit qu'on le pèse sous la forme de sulfure (As_2S_3), dont la composition peut être altérée par la présence de soufre libre, de pentasulfure d'arsenic ou d'humidité, soit qu'on l'ait transformé en arséniate de magnésie, à cause des pertes par solubilité, par adhérence du précipité au vase ou par décomposition partielle pendant la calcination. La quantité d'arsenic à doser étant ordinairement très petite, les surcharges ou les pertes même faibles en valeur absolue peuvent conduire à des erreurs relatives importantes. On arrive à bien plus d'exactitude en transformant le sulfure d'arsenic précipité en arséniate de bismuth, composé insoluble dans l'acide nitrique étendu et dont le poids est près de cinq fois égal à celui de l'élément à doser.

Le précipité de sulfure, reçu et lavé sur le filtre, est traité par l'ammoniaque étendu, qui dissout aisément le sulfure d'arsenic avec peu de soufre en excès; on verse dans la liqueur une suffisante quantité de nitrate d'argent qui donne lieu à la production de sulfure d'argent, contenant la totalité du soufre, et d'arsénite ou d'arséniate d'argent, suivant que le précipité primitif contenait du trisulfure ou du pentasulfure d'arsenic.

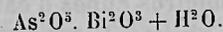
On chauffe quelques minutes en agitant, pour rassembler le précipité de sulfure; on ajoute 1 ou 2 centimètres cubes d'eau oxygénée pure (ou du moins sans autre acide que l'acide chlorhydrique), réactif qui est sans action sur le sulfure d'argent et qui transforme très rapidement l'arsénite en arséniate d'ammoniaque.

On chauffe de nouveau vers 100 degrés jusqu'à ce que l'odeur d'ammoniaque ait entièrement disparu; puis on acidifie la liqueur par quelques gouttes d'acide nitrique,

dont l'effet est de redissoudre aussitôt tout l'arséniate d'argent et de précipiter à l'état de chlorure d'argent tout le chlore qui peut provenir ou d'un lavage imparfait du sulfure d'arsenic, au début, ou de l'impureté de l'eau oxygénée.

On sépare sur un filtre les précipités réunis de sulfure et de chlorure d'argent et, après lavage, on verse dans la liqueur filtrée une solution azotique de sous-nitrate de bismuth, contenant de ce réactif au moins cinq ou six fois autant qu'il peut y avoir d'arsenic à doser.

On sature par l'ammoniaque et l'on fait bouillir quelques minutes, puis on laisse déposer le précipité blanc formé d'hydrate et d'arséniate de bismuth; on décante presque tout le liquide sur un petit filtre taré à l'avance, puis on redissout le précipité sur le filtre et dans la fiole par de l'eau contenant un quinzième de son volume d'acide azotique à 36 degrés B. ($d = 1,33$), ce degré de dilution convenant le mieux ici pour dissoudre peu à peu l'hydrate de bismuth et pour laisser l'arséniate complètement insoluble. On fait bouillir quelques minutes et on recueille sur le petit filtre taré le précipité lourd, cristallin, d'arséniate de bismuth, qu'on lave à l'eau acidulée au quinzième, puis à l'eau pure, on sèche à 100 degrés et on pèse le précipité dont la formule est :



Il contient 21,067 d'arsenic pour 100.

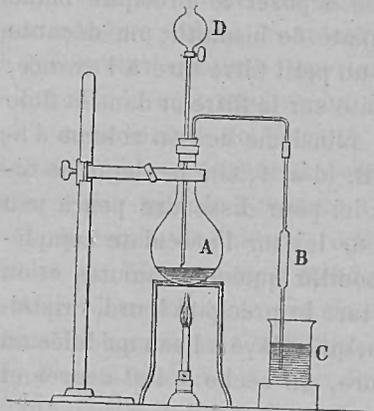
Dosage de l'arsenic seul à l'état de sulfure.

On obtient de fort bons résultats pour la recherche de l'arsenic seul en suivant la méthode donnée par Lundin (*Jern-Kontorets Annaler*, 1883) et par Blair (*The chemical analyses of iron*).

10 grammes d'acier sont attaqués dans un vase ou une

fiolle par de l'acide nitrique ($d = 1,20$) la dissolution est versée dans une capsule de platine ou de porcelaine, additionnée de 50 centimètres cubes d'acide sulfurique et évaporée jusqu'à production de vapeurs blanches abondantes. On laisse refroidir, on ajoute 50 centimètres cubes d'eau et on évapore de nouveau, de manière à chasser l'acide sulfurique en excès et à obtenir du sulfate ferrique sec, que l'on sépare de la capsule et transvase dans une fiolle de 500 centimètres cubes environ de capacité.

On ajoute dans la fiolle (A) 15 grammes de sulfate ferreux finement pulvérisé, puis 150 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré. On ferme le col avec un bouchon portant un tube recourbé deux fois à angle droit, à l'extrémité duquel on adapte, par un bout de caoutchouc, une pipette de 50 centimètres cubes (B); on place au-dessous un verre (C)



contenant 300 centimètres cubes d'eau et on y fait plonger la pointe de la pipette de 12 millimètres.

On chauffe graduellement le liquide dans la fiolle au moyen d'un bec Bunsen jusqu'à ce qu'on soit arrivé à l'ébullition, on continue à distiller jusqu'à ce que la partie supérieure de la burette soit chaude, ce qui demande une demi-heure environ. A ce moment, on écarte la flamme Bunsen et on sépare la pipette, pour chercher l'arsenic dans la solution aqueuse.

L'acide arsénique, qui se trouvait dans le composé ferrique, est réduit par l'acide chlorhydrique concentré

en présence du sulfate ferreux. Il distille du trichlorure d'arsenic $AsCl_3$, qui se condense dans l'eau avec de l'acide chlorhydrique.

On fait passer dans la solution un courant rapide d'hydrogène sulfuré; quand elle est saturée, on chasse l'hydrogène sulfuré par l'acide carbonique et, quand l'odeur est devenue très faible, on filtre. Le précipité jaune de sulfure d'arsenic est retenu dans un creuset de Gooch ou sur un filtre taré, lavé à l'eau, à l'alcool et enfin au sulfure de carbone pur, puis séché à 100 degrés et pesé. On le considère comme étant du trisulfure As_2S_3 , qui contient 60,97 p. 100 d'arsenic.

MÉTHODE D'ANALYSE PAR LE CHLORE SEC.

(Th. Schlœsing.)

Cette méthode est fondée sur l'action du chlore gazeux et parfaitement sec sur les métalloïdes et les métaux, qu'il transforme en chlorures, à l'exception du carbone et des silicates terreux ou alcalino-terreux. (Réaction précédemment utilisée par Wœhler pour le dosage du carbone et qui a été plus tard également employée pour la recherche du laitier renfermé dans le métal.)

Plusieurs de ces chlorures, ceux de silicium, de soufre, de phosphore, d'arsenic, sont très volatils et peuvent être complètement distillés à une température modérée; ceux de fer et de manganèse le sont moins, mais ne pourraient être séparés nettement par distillation de ceux des métalloïdes, d'autant plus que le chlorure de fer et celui de phosphore s'unissent en une combinaison moins volatile que chacun des chlorures simples.

Schlœsing a donné le moyen d'échapper à cette difficulté en faisant intervenir le chlorure de potassium bien sec, chauffé vers 300 à 400°, qui s'empare du perchlo-

rure de fer et le retient entièrement en formant un chlorure double beaucoup moins volatil. Il agit de même à l'égard du chlorure d'aluminium. Les chlorures de phosphore, d'arsenic, de soufre, de silicium se dégagent en totalité, entraînés par le courant de chlore sec et peuvent être recueillis et dosés dans des conditions beaucoup plus favorables que lorsqu'ils étaient en présence de la masse de chlorures métalliques.

Le chlore est préparé dans un grand flacon (A) rempli aux trois quarts de bioxyde de manganèse et communiquant avec un autre flacon (B) rempli d'acide chlorhydrique (pl. XI, fig. 3), le chauffage se fait doucement au moyen d'un bain-marie disposé sur un brûleur. Le gaz, qu'on arrête ou modère à volonté à l'aide d'un robinet (*r*), passe dans un tube en U contenant des fragments de bioxyde de manganèse, pour retenir l'acide chlorhydrique entraîné, puis dans un flacon laveur (*o*) à acide sulfurique, un tube à ponce sulfurique (*p*) et un tube à chlorure de calcium (*q*), où il se dépouille des dernières traces d'humidité et d'acide sulfurique, avant d'entrer dans le tube où il doit réagir sur la fonte ou l'acier.

Le tube à réaction est un tube en verre vert, de 7 millimètres de diamètre, qui a été préparé de la façon suivante : une première partie (*a*) longue de 30 centimètres est horizontale et disposée sur une grille à gaz ; puis vient une partie inclinée, étirée à la lampe, de 15 centimètres de longueur, descendant à une autre partie horizontale (*b*), longue de 10 centimètres environ, et de même diamètre que la première. Cette dernière partie est étirée à son extrémité, mais vers le haut, en sens inverse de la précédente ; elle se relie par un caoutchouc non vulcanisé avec la partie inférieure, également étirée, d'un tube vertical (*c*) rempli de fragments de porcelaine, à la suite duquel est un petit flacon à eau (*d*), servant de témoin pour le passage régulier du chlore. En versant un filet

d'eau pure à l'extrémité supérieure du tube (*c*), on humecte les parois et les fragments de porcelaine et on introduit quelques centimètres cubes d'eau dans la portion horizontale inférieure (*b*) du tube de verre.

Au fond de la portion horizontale supérieure (*a*) est placé un tampon d'amiante et, par-dessus, une colonne de chlorure de potassium grossièrement pilé et séché ; il faut environ 10 grammes de chlorure de potassium pour 1 gramme de fer ; par-dessus, on a placé un second tampon d'amiante. Le tube est fermé par un bouchon de liège, qui traverse un bout du tube destiné à amener le courant gazeux.

Il est essentiel de ne laisser dans les premières parties du tube aucune trace d'humidité, qui décomposerait les chlorures volatils, jusqu'à la portion où l'on a introduit de l'eau. Pour cela, on fait passer un courant d'acide carbonique à travers les appareils desséchants et le tube de verre ; on chauffe vers 150 ou 200 degrés la portion (*a*) du tube dans toute sa longueur pendant une dizaine de minutes, puis on raccorde les tubes desséchants au flacon à dégagement de chlore, d'où tout l'air a été expulsé à l'avance (on vérifie que le gaz est complètement absorbé par la potasse).

On fait alors passer lentement le courant de chlore sec dans le tube parfaitement sec et on chauffe ensuite peu à peu la nacelle, où l'on voit se produire une vapeur d'un rouge foncé, qui se condense à peu de distance et se fixe sur le chlorure de potassium. Celui-ci se trouve porté à une température suffisante pour faire fondre le chlorure double de potassium et de fer, mais seulement dans la partie la plus voisine de la nacelle. On peut suivre facilement des yeux les progrès de la réaction, le chlorure de fer ne colorant que les premières portions du sel blanc, où il est arrêté très nettement.

Vers la fin, on chauffe un peu plus fortement, afin de

distiller tout le chlorure de phosphore, qui a pu se condenser sous forme de croûtes blanches vers l'extrémité la moins chaude de la branche (a); mais on évite d'aller jusqu'au rouge sombre, car il pourrait y avoir réaction mutuelle du chlorure de phosphore et du verre du tube avec formation d'acide phosphorique et de chlorure de silicium.

On chauffe aussi, mais seulement avec une lampe à alcool, la partie étirée du tube, afin de faire passer dans la seconde branche horizontale (b) la totalité des chlorures volatils de métalloïdes: PhCl^5 , AsCl^5 , SCl^4 et SiCl^4 .

Au contact de l'eau, ils sont aussitôt transformés en acide chlorhydrique et composés oxygénés: Ph^2O^5 , As^2O^5 , SO^3 et SiO^2 .

L'opération étant terminée, on coupe le tube dans la partie étirée et on fait écouler le liquide de la branche (b) dans une capsule de porcelaine; on lave très bien à l'eau distillée non seulement la branche (b), mais aussi le tube (c), où les fragments de porcelaine humide ont pu compléter la décomposition des chlorures, et on réunit toutes les eaux de lavage dans la capsule (*).

On ajoute à la solution de l'acide azotique; on évapore doucement pour chasser l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce que les vapeurs condensées sur une petite lame de verre au-dessus de la capsule ne se troublent plus par l'addition d'une goutte d'azotate d'argent.

On verse alors dans la capsule un peu d'azotate d'argent et on achève l'évaporation à sec.

On calcine légèrement, de manière à fondre seulement le nitrate d'argent; il se forme, en même temps que de la silice insoluble, du sulfate, du phosphate et de l'arsé-

(*) Si l'on voulait doser aussi le silicium dans cette opération, comme il peut rester de la silice adhérente aux parois, on les laverait avec une solution de soude pure, qu'on réunirait au reste du liquide.

niat d'argent bien neutres; en reprenant par l'eau chaude, on ne dissout que le nitrate et le sulfate d'argent et dans la liqueur on peut, après précipitation de l'argent par l'acide chlorhydrique, doser le *soufre* à l'état de sulfate de baryte.

Le résidu insoluble contient: silice, phosphate et arséniate d'argent; on pèse et, en traitant par l'acide azotique étendu, on dissout le phosphate et l'arséniate; calcinant et pesant de nouveau le résidu de silice, on détermine par différence le poids des deux sels d'argent. Leur coloration a, d'ailleurs, fait connaître s'il n'y avait que du phosphate, de coloration jaunâtre clair, ou en même temps de l'arséniate, colorant le résidu en rouge brunâtre.

S'il n'y a que du phosphate, comme cela arrive le plus fréquemment, le dosage du *phosphore* s'obtient en multipliant la différence de poids trouvée par le coefficient:

$$\frac{\text{Ph}}{\text{Ph O}^3\text{Ag}^3} = 0,0740.$$

S'il y a de l'*arsenic*, en même temps que du phosphore, on précipite l'argent par l'acide chlorhydrique et on pèse le chlorure d'argent, ce qui permet, avec la pesée précédente, de calculer l'acide phosphorique et l'acide arsénique. On peut d'ailleurs doser directement l'acide phosphorique en éliminant l'arsenic à l'état de sulfure par l'ammoniaque, le sulfhydrate et l'acide chlorhydrique et précipitant ensuite par la mixture magnésienne. L'arsenic, que l'on pourrait aussi doser directement, se calcule aisément par différence.

Cette méthode permet donc de doser le soufre, le phosphore, l'arsenic et même le silicium parmi les éléments volatilisés et entraînés par le courant du chlore; d'autre part, en examinant le résidu et lavant pour enlever les chlorures solubles, on trouve comme résidu le carbone

de la fonte ou de l'acier et, avec lui, le laitier ou la scorie renfermée dans le métal. On peut donc ainsi arriver à les doser avec quelque approximation. Le défaut que l'on peut reprocher à la méthode, c'est de n'admettre pour la prise d'essai qu'un faible poids de matière, 1 gramme de métal par exemple, ce qui est trop peu pour les dosages à effectuer, lorsque les éléments combinés au fer ne s'y trouvent qu'en très faibles proportions.

DOSAGE DU SOUFRE.

Méthodes pondérales.

Les méthodes que l'on emploie pour le dosage du soufre, procèdent : soit par oxydation directe et dissolution simultanée du soufre et du fer (I), — soit par dissolution du métal seul et mise en liberté du soufre ou du sulfure demeuré insoluble (II), — soit par dégagement du soufre à l'état de combinaison volatile (III).

I. — Lorsqu'on attaque directement le métal par un réactif oxydant, tel que l'eau régale, l'acide chlorhydrique avec brome ou chlorate de potasse, etc., et que l'on précipite ensuite par le chlorure de baryum l'acide sulfurique formé, on n'obtient qu'un résultat approximatif. La précipitation du sulfate de baryte n'est pas bien complète en présence d'une très grande quantité de sels de fer, malgré la précaution, qu'il ne faut toujours pas négliger, de chasser par évaporation la plus grande partie des acides, d'étendre de beaucoup d'eau et de faire bouillir longtemps avec le chlorure de baryum. D'autre part, le précipité est toujours coloré par de l'oxyde de fer, que l'on ne parvient pas à enlever sans une opération spéciale ; il peut aussi y avoir surcharge, par suite de l'attaque des parois de la fiole, qui peuvent céder un peu de

silice et d'acide sulfurique augmentant le poids du précipité. Il y a, sans doute, compensation partielle entre ces erreurs de sens contraire ; mais on n'est pas sûr du degré d'approximation.

Employé encore quelquefois à cause de son apparente simplicité, ce procédé ne nous semble pas devoir être recommandé pour des analyses très exactes.

II. — La dissolution du fer peut s'obtenir, sans oxydation, ni dissolution du soufre, par un procédé semblable à celui qui sert pour la mise en liberté du carbone total. On opère sur 5 ou 10 grammes de métal.

On emploie commodément le chlorure double de cuivre et de potassium ou de sodium dans les conditions déjà indiquées (p. 380).

L'emploi du perchlorure de fer peut aussi réussir (Gintl), en prenant de ce sel une quantité vingt fois égale au poids du métal et formant une dissolution presque neutre ; mais l'opération est beaucoup plus lente. La méthode est d'ailleurs en défaut, si le métal contient du cuivre.

La masse de fer se dissout, tandis que le sulfure et le phosphore de fer restent insolubles avec le carbone et une partie de la silice. On reçoit ce résidu sur un petit filtre ; on lave à l'eau chaude, on sèche à température très douce, on sépare du filtre, qu'on nettoie bien avant de le brûler ; on réunit les cendres et le résidu séparé pour les mêler à un poids égal de nitre et cinq fois autant de carbonate de soude. On fait fondre dans un creuset de platine jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de gaz, on dissout dans l'eau, on filtre pour séparer l'oxyde de fer et les autres substances insolubles, on acidifie par l'acide chlorhydrique, on évapore à sec pour séparer la silice, on humecte d'acide chlorhydrique, on redissout par l'eau chaude et on précipite par le chlorure de baryum en chauffant quelque temps à l'ébullition. On a ainsi le

dosage du soufre à l'état de sulfate de baryte :

$$S = 13,74 \frac{p}{n}$$

III. — La volatilisation du soufre sans entraînement de fer s'obtient le plus souvent par l'emploi des acides non oxydants, qui le dégagent à l'état d'hydrogène sulfuré (A); elle peut être réalisée sous la même forme par l'emploi de l'hydrogène et de l'acide carbonique au rouge (procédé Rollet) (B). On peut aussi l'obtenir au moyen de chlore gazeux, à la condition de retenir le chlorure de fer volatilisé par du chlorure de potassium (méthode Schloesing) (C).

A. — L'emploi des acides non oxydants offre une grande simplicité, car il est facile de retenir l'hydrogène sulfuré par des réactifs appropriés. Malheureusement, on croit avoir constaté qu'il reste quelquefois un peu de soufre dans le résidu de l'attaque (Docteur Möller, *Stahl und Eisen*, 1866, II, p. 581), en sorte qu'il faut une seconde opération pour compléter les dosages rigoureux.

Cette opération complémentaire s'exécute, soit par voie humide en traitant le résidu par l'eau régale et le chlorure de baryum (I), soit par voie sèche en fondant avec du carbonate de soude et du nitre et achevant comme dans le cas précédent (II).

Pour faire l'attaque du métal, Boussingault a recommandé l'emploi d'acide sulfurique étendu de cinq fois son volume d'eau et d'une solution légèrement acide d'azotate d'argent pour retenir l'hydrogène sulfuré dégagé. On a fait à ce procédé différentes objections qui paraissent bien fondées (*Soc. de l'industrie minière*, 1879 et 1884).

Il peut y avoir erreur : 1° par suite d'une décomposition partielle de l'acide sulfurique, s'il est trop concentré; 2° par attaque incomplète du métal sulfuré; 3° par

production d'acétylénure d'argent, s'ajoutant au sulfure précipité.

Il est préférable d'employer l'acide chlorhydrique et de recevoir les gaz dégagés, soit dans une solution ammoniacale de sulfate ou de nitrate de cadmium (Dewey, Marrel), de manière à former du sulfure qu'on pèse sur filtre taré après dessiccation à 100 degrés :

$$S = 22,22 \frac{p}{n}$$

soit dans une solution ammoniacale de cuivre (Rivot) ou une dissolution d'acétate de plomb dans la potasse (Frésenius), le sulfure obtenu ne devant pas être pesé, mais transformé lui-même par voie humide ou par voie sèche avec le résidu insoluble de l'attaque en sulfate de baryte, afin d'éviter les incertitudes sur la composition du précipité :

$$S = 13,74 \frac{p}{n}$$

On peut aussi faire passer les gaz dégagés dans une solution oxydante, afin de transformer directement l'hydrogène sulfuré en acide sulfurique. A cet effet, on emploie soit une dissolution de permanganate de potasse (Drown), soit de l'acide chlorhydrique bromé (Johnston), soit de l'eau oxygénée (Classen et Bauer).

Les dispositifs suivants, imités de ceux dont on se sert dans les usines de Saint-Jacques (Montluçon), de Longwy et de Dudelange (Meurthe-et-Moselle), sont d'un usage commode. Dans le ballon, où se fait l'attaque, s'ouvrent : un tube latéral (a) amenant le courant d'acide carbonique ou d'hydrogène pur, qu'on arrête à volonté au moyen d'une pince, un tube à boule et à robinet (b) pour introduction de l'acide chlorhydrique et le tube de dégagement (c) qui aboutit au tube absorbant. Celui-ci est constitué par une série de boules formant colonne inclinée et communiquant avec une boule de plus grand volume,

qu'on remplit d'acide chlorhydrique étendu, auquel on a ajouté une suffisante quantité de brome (Pl. XI, *fig.* 4). Ou bien il comprend une boule, pour retenir l'acide chlorhydrique entraîné, et deux tubes de Péligot avec bouchons en verre creux, contenant : ou bien 100 centimètres cubes d'une solution de permanganate de potasse à 40 ou 50 grammes de sel par litre, avec un peu de soude pure; ou bien 50 centimètres cubes d'eau oxygénée à 4 volumes d'oxygène actif mêlés avec 50 centimètres cubes d'ammoniaque à 2 1/2 p. 100 (Pl. XI, *fig.* 5), afin de faciliter l'absorption et la transformation de l'hydrogène sulfuré. Il est bien entendu que l'on doit s'être assuré à l'avance que ces réactifs ne contiennent aucune trace de soufre. Il faut aussi, pour relier les tubes entre eux, se servir de caoutchouc naturel ou désulfuré, pour ne pas s'exposer à une cause d'erreur, ou, mieux encore, employer un appareil de verre, dont les pièces s'assemblent sans aucun tube de caoutchouc comme celui de l'Académie des mines de Berlin (Wedding, p. 697).

Après avoir introduit les 5 ou 10 grammes de métal en copeaux ou en grains dans le ballon, ajouté 100 centimètres cubes d'eau et versé dans le réservoir à robinet 100 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, on chasse l'air par l'acide carbonique en ouvrant la pince et enlevant le tube à boules; puis on replace celui-ci, on referme la pince et on fait écouler l'acide par portions, en opérant à froid et attendant, chaque fois, que le dégagement de gaz se soit presque arrêté; on complète l'attaque en chauffant doucement et, à la fin, en faisant bouillir le liquide. On termine en amenant de nouveau le courant d'acide carbonique pour balayer l'appareil et faire passer les dernières traces d'hydrogène sulfuré dans le réactif oxydant.

Le liquide du tube à boules, réuni à l'eau de lavage, est chauffé à 100°, de manière à parfaire sûrement l'opé-

ration, il est acidifié par l'acide chlorhydrique dans le cas du permanganate ou de l'eau oxygénée, puis additionné de chlorure de baryum. Après ébullition prolongée, on recueille, calcine et pèse le sulfate de baryte :

$$S = 13,74 \frac{P}{n}$$

On peut remarquer que, dans toutes ces opérations, où le métal est dissous par l'acide chlorhydrique à chaud et dans un courant d'acide carbonique, le résidu peut servir à doser le graphite; car celui-ci a été isolé des autres variétés du carbone dans de très bonnes conditions.

B. — Le procédé Rollet-Osmond, employé dans quelques laboratoires, notamment dans celui du Creusot, est fondé sur la transformation totale du soufre combiné au fer en hydrogène sulfuré par l'action d'un mélange gazeux d'hydrogène (3/4) et d'acide carbonique (1/4) sur le métal porté au rouge vif dans un tube de porcelaine.

L'hydrogène est préparé au moyen de zinc assez pur et d'acide sulfurique étendu; il se purifie en passant dans trois flacons laveurs remplis de solution acide d'azotate d'argent (25 grammes d'argent, 60 centimètres cubes d'acide azotique, eau jusqu'à 1 litre) et dans un quatrième flacon avec de l'eau pure destinée à retenir les gaz ou gouttelettes acides provenant des autres flacons. On peut aussi remplacer les deux premiers flacons par des tubes de Péligot (tubes en U avec boules) contenant l'un de la potasse et l'autre du permanganate.

L'acide carbonique est fourni par un appareil, où l'on fait agir de l'acide chlorhydrique étendu sur du carbonate de chaux exempt de sulfures autant que possible: néanmoins, par précaution, on fait arriver le gaz dans le fond du troisième flacon, afin de le dépouiller de toute trace de soufre par l'azotate d'argent.

Le mélange des deux gaz est conduit par des tubes en

verre et des bouts de tube de caoutchouc non sulfuré à un tube de porcelaine de 25 millimètres environ de diamètre intérieur, dans lequel on a étalé le métal à l'état de poudre ou de copeaux, en se servant d'une longue cuiller en fer, en forme de nacelle, qu'on fait tourner sur son axe; le tube est fermé à ses deux extrémités par deux bouchons de caoutchouc désulfurés, traversés par des tubes de verre.

Le four qui enveloppe le tube de porcelaine est constitué par deux briques taillées, frettées par deux lames de fer et portées par deux supports en cuivre; il est chauffé au moyen d'un chalumeau Schlœsing, en éventail, à gaz d'éclairage et vent soufflé.

Les gaz qui sortent du tube, entraînant l'hydrogène sulfuré formé, arrivent dans une série de boules disposées de telle sorte que le dôme de chacune d'elles est relié au fond de la suivante; un bouchon de caoutchouc ferme bien hermétiquement le col de chacune d'elles (Pl. XI, fig. 6). Dans chaque boule on a versé une même quantité connue d'une solution titrée d'azotate d'argent. L'hydrogène sulfuré est totalement absorbé par la première boule, tant que celle-ci renferme la moindre quantité d'argent dissous; dès que tout l'argent est précipité, l'hydrogène sulfuré commence à parvenir à la boule suivante et à en colorer le liquide, tandis que le sulfure d'argent de la première s'agrège presque aussitôt. Il en est de même entre la deuxième et la troisième, ainsi de suite. Il suffit donc, lorsque l'opération est terminée, de compter le nombre de boules qui contiennent un précipité pour connaître le nombre de dix-millièmes de soufre. La coloration de la dernière boule, où le précipité ne s'est pas déposé, peut être prise comme correspondant à un demi-dix-millième ou 0,005 p. 100. L'approximation dépend de la quantité d'argent que renferme une boule, l'erreur étant évidemment toujours moindre que la moitié de

cette quantité. On peut rendre l'estimation plus précise encore, en ajoutant après coup, dans la dernière boule dont le liquide s'est coloré, une goutte d'acide chlorhydrique et appréciant à la vue le précipité qui se forme.

La solution titrée d'argent se prépare en dissolvant 2^{gr},250 d'argent fin, obtenu par réduction du chlorure, dans 12 centimètres cubes d'acide azotique à 36° B. et ajoutant de l'eau jusqu'à 1 litre. Chaque centimètre cube de cette dissolution correspond à 0^{mg},33 de soufre ou, par conséquent, à 0,033 p. 100 sur une prise d'essai de 1 gramme. On en verse dans chaque boule exactement 3 centimètres cubes, au moyen d'une burette graduée en dixièmes de centimètre cube; chaque boule doit donc retenir exactement 1 milligramme de soufre ou 0,10 p. 100.

Le dosage est ainsi obtenu du premier coup à moins de 0,05 p. 100 près.

Si l'on veut avoir une approximation plus grande, on pourra recommencer l'expérience en employant le nombre de boules à 0,10 p. 100 indiqué pour le premier essai et plaçant au delà quelques boules à 0,05 ou 0,02 p. 100; celles-ci permettront de faire le dosage à 0,01 p. 100, c'est-à-dire à un dix-millième près.

Dans quelques laboratoires on fait jusqu'à six essais à la fois, en disposant autant de tubes dans un four chauffé avec un chalumeau Schlœsing et un égal nombre d'appareils à boules de nitrate d'argent. On peut faire, presque sans interruption, plusieurs expériences avec un même tube; pour cela, aussitôt la première expérience terminée, on ouvre le tube et on enlève, avec la cuiller demi-cylindrique, le résidu aggloméré; on renouvelle la série des boules réactifs, puis on verse avec la cuiller une nouvelle prise d'essai et on ferme immédiatement le tube, en rendant le courant de gaz, pour n'avoir pas de perte d'hydrogène sulfuré.

Cette méthode donne de fort bons résultats ; il ne faudrait pas la modifier, comme on l'a fait quelquefois, en attaquant le métal par l'acide chlorhydrique à froid et en faisant passer les gaz dégagés, avec un mélange d'hydrogène et d'acide carbonique, dans un tube chauffé au rouge ; car on n'éviterait pas ainsi la perte due à un dégagement incomplet du soufre à l'état d'hydrogène sulfuré.

C. — Nous ne ferons que rappeler ici la méthode d'attaque du métal par un courant de chlore bien sec, que nous avons décrite précédemment sous le nom de méthode Schloesing ; la volatilisation du soufre sous la forme de chlorure et sa condensation par l'eau sous celle d'acide sulfurique sont complètes. Le chlorure de fer ayant été retenu par la colonne de chlorure de potassium, le dosage du soufre à l'état de sulfate de baryte peut être fait exactement.

L'opération serait trop longue et trop délicate, si elle ne devait avoir pour résultat que le dosage du soufre ; mais elle conduit en même temps à la détermination de divers éléments, notamment le phosphore, l'arsenic et le laitier. Aussi mériterait-elle d'être pratiquée plus souvent qu'elle ne l'est, en effet, si l'on ne préférerait exécuter pour chaque élément une opération spéciale sur un poids de métal approprié au dosage que l'on a en vue.

Procédés colorimétriques et volumétriques.

Aux méthodes fondées sur le dégagement du soufre sous la forme d'hydrogène sulfuré par l'action des acides non oxydants se rattachent plusieurs procédés colorimétriques ou volumétriques.

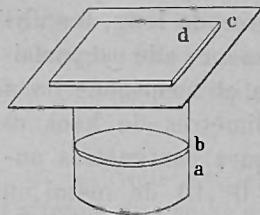
I. — Eggertz a depuis longtemps fait connaître une méthode d'évaluation approximative fondée sur les colo-

rations jaunes ou brunes, plus ou moins marquées, que produisent des traces plus ou moins sensibles d'hydrogène sulfuré sur une petite feuille formée d'un alliage bien homogène de trois quarts d'argent et un quart de cuivre. Cette feuille blanche a 15 millimètres de long, 6 millimètres de large, 1 millimètre d'épaisseur ; elle est parfaitement nettoyée avant l'expérience et suspendue dans une fiole cylindrique de 120 millimètres de haut et 123 millimètres de large, à quelques centimètres au-dessous du bouchon. On emploie 0^{gr},10 de métal en morceaux très fins et on traite par 1^{cm}³,5 d'acide sulfurique ($d = 1,23$), formé par le mélange de 27 centimètres cubes d'acide anglais et de 100 centimètres cubes d'eau. On opère à la température ordinaire, on remue tout doucement la fiole et, après 15 minutes, on observe la teinte prise par la lame d'argent : une teinte jaune plus claire que celle du laiton correspond à 0,01 p. 100 de soufre ; une teinte jaune de laiton à 0,02 p. 100 ; une teinte jaune d'or à 0,03 ; une teinte brun de tombac à 0,04 ; la même, avec une légère nuance bleue, à 0,05 ; avec nuance bleue plus marquée, à 0,06 ; avec autant de bleu que de brun, à 0,08 ; une teinte bleu sombre avec nuance de brun correspond à 0,10 p. 100 ; avec trace de brun, à 0,15 ; sans brun, à 0,20 ; une coloration d'un bleu gris indique plus de 0,20 p. 100 de soufre. Les proportions les plus faibles, de 0,01 à 0,04 p. 100 de soufre, sont les mieux caractérisées par ce moyen ; les autres sont peu distinctes.

L'opération faite à froid a l'inconvénient de ne pas dégager tout le soufre à l'état d'acide sulfhydrique ; les erreurs sont parfois importantes, surtout lorsque la teneur en soufre est un peu élevée.

II. — Ce procédé colorimétrique a été modifié par différents chimistes. A l'usine Saint-Jacques (Montluçon),

on est fort satisfait du mode opératoire suivant : 1 gramme de limaille est traité par 30 centimètres cubes d'acide sulfurique étendu à 15 p. 100 dans un vase cylindrique de



Bohême. Le liquide *a* est immédiatement recouvert d'une mince couche de benzine *b* (5 centimètres cubes), destinée à empêcher toute projection, et l'on place aussitôt sur le vase un carré de papier préparé à l'acétate de plomb *c*, qu'on maintient en posant des-

sus une plaque de verre *d*. Les papiers doivent, comme de juste, avoir été préparés toujours de la même façon, pour que les teintes soient bien comparables.

Lorsque l'attaque est terminée à la température ordinaire, le papier à l'acétate de plomb n'est resté blanc, que si le métal ne contient pas de soufre; sinon, il s'est formé un disque coloré, toujours de même grandeur, dont la teinte doit être comparée à celle d'autres disques semblables, obtenus avec des aciers-types dont on connaît la teneur en soufre. On a formé avec ces disques, préparés en double ou en triple pour chaque type, des échelles de teintes. Les différences sont, comme dans le procédé précédent, beaucoup plus distinctes pour les teneurs faibles que pour les teneurs élevées. Les disques correspondant à des teneurs très faibles s'obtiennent en employant, au lieu de 1 gramme, une fraction de gramme de métal type et complétant le gramme avec du fer parfaitement exempt de soufre, dont la limaille est mêlée à celle du premier, de façon que l'attaque par l'acide sulfurique se fasse toujours sensiblement de la même façon.

A la condition d'être mis en œuvre toujours par le même opérateur, ce procédé donne des résultats assez approchés et il a le grand avantage de ne demander que

vingt ou trente minutes; mais les erreurs ne sont pas négligeables, surtout avec des teneurs un peu élevées.

III. — Wiborgh, professeur à l'École des mines de Stockholm (*Jern Contorets Annaler*, 1886; *Stahl und Eisen*, 1886), se fondant également sur un phénomène de coloration graduelle par des quantités croissantes d'hydrogène sulfuré, a rendu l'évaluation plus précise en opérant à chaud dans un appareil spécial et faisant agir les gaz dégagés sur une toile imprégnée d'un sel de cadmium; celui-ci prend, en se sulfurant, des teintes variant du jaune clair à l'orange foncé, d'une comparaison assez facile.

L'appareil se compose d'un petit ballon fermé par un bouchon de caoutchouc désulfuré, à deux trous : l'un porte un tube à entonnoir avec pince pour l'introduction de l'acide; l'autre un cylindre de verre de 58 millimètres de diamètre, avec rétrécissement à la base et rebord très saillant à la partie supérieure; sur ce rebord doivent se fixer deux rondelles en caoutchouc surmontées d'une rondelle en bois; entre les rondelles de caoutchouc est tendue une feuille de la toile au cadmium (Pl. XI, *fig.* 7). Cette toile-réactif se prépare en découpant dans de la toile de coton blanche des disques de 8 centimètres environ de diamètre, qu'on fait tremper dans une solution de 5 grammes d'acétate de cadmium cristallisé dans 100 centimètres cubes d'eau et qu'on fait sécher ensuite sur un linge blanc. On conserve ces ronds de toile dans une boîte, à l'abri de la lumière et de l'humidité, qui les altéreraient.

Pour une opération, l'appareil ayant été bien nettoyé, on verse 150 centimètres cubes d'eau distillée, qui remplissent à moitié le ballon, et l'on chauffe sur un petit bain de sable jusqu'à une ébullition faible, qu'on entretient trois ou quatre minutes, afin de chasser complètement l'air dissous dans l'eau.

Le métal doit être en poudre ou en copeaux très fins ; la prise d'essai est, en général, de 0^{gr},40 ; elle pourrait être plus grande ou plus petite pour des teneurs en soufre très faibles ou assez élevées. Le métal est placé dans un petit tube de verre suspendu par un fil de platine, que l'on introduit dans l'eau en le fixant à l'aide du bouchon de caoutchouc. On pose sur l'entonnoir les deux rondelles de caoutchouc, comprenant entre elles le disque de toile, puis la rondelle de bois, qu'on assujettit fortement au moyen de deux pinces métalliques pressant d'une part sur la rondelle, de l'autre sous le rebord en saillie du cylindre de verre. Puis on continue l'ébullition très douce et toujours égale pendant une dizaine de minutes, de manière à échauffer le cylindre et à bien humecter la toile. On a, pendant ce temps, versé dans le petit entonnoir 10 centimètres cubes d'acide sulfurique étendu d'eau (1 : 3) ; on desserre légèrement la pince, pour faire couler l'acide dans l'eau par petites quantités à la fois. L'hydrogène dégagé traverse la toile imprégnée de sel de cadmium et les traces d'hydrogène sulfuré colorent en jaune la face inférieure de cette toile. On laisse l'ébullition se prolonger encore quelques minutes après que le métal a été dissous, pour expulser tout le gaz, puis on défait les pinces et on retire le disque de toile, qu'on sèche sur un papier-filtre et qu'on compare à l'échelle des teintes. Cette échelle se prépare en opérant de la même façon sur différentes quantités d'un fer, dont la teneur en soufre a été déterminée exactement.

Il importe que l'ébullition soit toujours très douce et constamment soutenue, pour que, d'une part, le disque de toile ne soit pas déformé par la pression de la vapeur ou gondolé par des gouttes d'eau et que la coloration se fasse d'une manière uniforme, et pour éviter, d'autre part, la rentrée de l'air dans l'appareil.

L'essai dure une demi-heure ou trois quarts d'heure.

Les résultats sont bons ; le procédé a seulement l'inconvénient d'exiger un appareil spécial et des toiles préparées à l'avance, d'une façon uniforme, pour être comparées à l'échelle des teintes ; il faut d'ailleurs que cette échelle soit conservée dans une boîte bien fermée, à l'abri de la lumière, de l'humidité et surtout des gaz du laboratoire.

REMARQUE. — La rapidité de ces essais colorimétriques en facilite beaucoup l'usage ; mais il ne faut pas perdre de vue qu'ils ne sont exacts, comme tous les essais de ce genre, qu'à la condition d'être pratiqués de la même façon, par la même personne, avec une échelle des teintes bien établie. Ils ne tiennent d'ailleurs aucun compte de la petite quantité de soufre, qui peut n'être pas dégagée à l'état d'hydrogène sulfuré.

IV. — Au laboratoire de Pittsburg, on se sert d'un procédé volumétrique fondé, comme le précédent, sur la formation de sulfure de cadmium, mais se terminant par un dosage au moyen d'une liqueur titrée d'iode.

4 grammes de métal sont introduits dans une fiole de trois quarts de litre portant un tube à entonnoir, dont l'extrémité recourbée descend au fond de la fiole, et un tube à dégagement, qui plonge dans une solution ammoniacale de nitrate de cadmium. On verse par l'entonnoir 15 centimètres cubes d'eau environ, puis 45 centimètres cubes d'acide chlorhydrique. On laisse le dégagement de gaz se faire à froid, en agitant un peu quand il s'arrête ; on ajoute alors 5 centimètres cubes d'ammoniaque dans la solution de cadmium et on chauffe doucement, sur un plateau, la fiole contenant l'acide ; s'il faut chauffer longtemps pour achever de dissoudre les morceaux de métal, on remet un peu d'ammoniaque dans la solution ; on termine en portant à l'ébullition, puis soulevant la fiole et lavant le tube de dégagement.

On recueille sur un filtre le sulfure de cadmium produit, on lave, puis on ouvre le filtre et on le met dans un vase avec 200 centimètres cubes d'eau pure, quelques gouttes de solution d'amidon et 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ($d = 1,20$). On agite avec une baguette de verre et on fait couler d'une burette graduée une solution d'iode décimale ou bien une solution titrée par comparaison au moyen d'un acier contenant une quantité connue de soufre. On s'arrête lorsqu'apparaît la coloration bleue de l'iodure d'amidon et on retranche un dixième de centimètre cube à la mesure du volume de la solution employée.

La solution de nitrate de cadmium s'obtient ainsi : dissoudre 150 grammes de sel dans 1.000 centimètres cubes d'eau, ajouter 1.100 centimètres cubes d'ammoniaque concentrée; on a ainsi la liqueur à conserver en magasin. De cette liqueur on prend 700 centimètres cubes, qu'on mêle avec 1.200 centimètres cubes d'ammoniaque, et de ce mélange on prend 15 centimètres cubes, qu'on dilue avec 200 centimètres cubes d'eau pour chaque détermination.

DOSAGE DU MANGANÈSE.

Il convient d'opérer différemment suivant que l'on a affaire à un métal riche en manganèse, tel que les ferromanganèses et les fontes-spiegel, à un métal moins riche, comme beaucoup de fontes, ou à un métal comme les aciers et les fers, qui ne renferment que quelques millièmes de manganèse.

I. — Métal riche en manganèse.

(*Ferromanganèse, spiegel, silico-spiegel, fontes manganésées.*)

A. — Méthode pondérale par les acétates et le brome.

On prend 1 gramme de métal en petits fragments; on en fait l'attaque dans une capsule de porcelaine recouverte d'un entonnoir en verre, par 25 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré et 15 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,33$). La capsule est chauffée à 100 degrés dans une étuve ou sur un bain-marie; on évapore à sec et on laisse à 100 degrés pendant trois ou quatre heures après la dessiccation. On reprend ensuite par 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, on chauffe doucement, on ajoute un peu d'eau et, après avoir porté à l'ébullition pour bien redissoudre les oxydes métalliques, on filtre et on lave la silice restée insoluble avec du carbone.

On neutralise les acides par une solution de carbonate de soude, jusqu'à ce que la liqueur soit colorée en rouge très foncé ou même jusqu'à ce qu'il se forme un faible précipité que l'agitation ne fait plus disparaître; dans ce cas, on le redissout par quelques gouttes d'acide chlorhydrique, ajoutées avec beaucoup de précaution, en ne versant que deux gouttes à la fois, agitant vivement et attendant deux ou trois minutes pour constater si la dissolution est complète. La liqueur étant presque opaque, il convient de placer la fiole sur un papier blanc pour faire cette observation, afin de ne pas s'exposer à mettre d'acide chlorhydrique en excès. On ajoute alors 2 grammes d'acétate de soude, en dissolution dans quelques centimètres cubes d'eau, et on chauffe rapidement jusqu'à l'ébullition, qu'on entretient environ dix minutes. On filtre et on lave avec de l'eau chaude le précipité volu-

mineux, qui comprend tout l'oxyde de fer à l'état d'hydrate, d'acétate et de phosphate, s'il y a du phosphore dans l'acier, avec une quantité petite, mais non pas négligeable, de manganèse. Pour éviter une perte sensible, il est nécessaire de redissoudre le précipité encore humide par le moins possible d'acide chlorhydrique étendu de son volume d'eau chaude et de recommencer la précipitation dans des conditions semblables. Le précipité lavé ne retient plus que des traces de manganèse.

On réunit les liqueurs filtrées, on y ajoute 10 grammes d'acétate de soude et quelques gouttes d'acide acétique. Si l'on y suppose la présence du *nickel* et du *cobalt*, on les soumet pendant un quart d'heure à un courant d'hydrogène sulfuré, à la température de l'ébullition; le nickel, le cobalt et la portion de cuivre restée en solution, se précipitent alors. On élimine par filtration les sulfures noirs ainsi formés, on porte la liqueur à l'ébullition pour chasser l'hydrogène sulfuré et, après refroidissement, on y ajoute un peu de brome, de manière à ce qu'il en reste, après agitation, quelques gouttes non dissoutes au fond de la fiole, puis on neutralise par l'ammoniaque; au bout d'un quart d'heure on répète l'addition de brome et celle d'ammoniaque, afin d'obtenir une précipitation plus rapide et complète, puis on chauffe quelques minutes à l'ébullition. Le bioxyde de manganèse hydraté forme un dépôt noir qu'on reçoit sur un filtre en papier Schleicher; on lave, sèche, calcine au rouge et pèse l'oxyde salin Mn^2O^3 .

La teneur, pour 100, en manganèse est :

$$Mn = 72,0 \frac{p}{n}.$$

Il est d'ailleurs préférable de ne peser qu'après transformation en protoxyde MnO ou en protosulfure MnS .

On arrive au premier par calcination dans un courant

d'hydrogène sec et on calcule alors la proportion de métal par la formule :

$$Mn = 77,5 \frac{p}{n}.$$

On obtient le sulfure en mêlant à de la fleur de soufre et calcinant dans un courant d'hydrogène ou simplement en chauffant au rouge dans un courant d'hydrogène sulfuré :

$$Mn = 63,2 \frac{p}{n}.$$

NOTA. — Comme il est difficile de débarrasser complètement le précipité de bioxyde de manganèse des alcalis fixes entraînés dans une dissolution chargée de sels alcalins, il y a avantage à substituer à ces sels du carbonate d'ammoniaque, pour saturer les acides aussi exactement que possible, avec le même soin que lorsqu'on emploie le carbonate de soude, puis de l'acétate d'ammoniaque obtenu en prenant 5 centimètres cubes d'ammoniaque et versant peu à peu l'acide acétique jusqu'à ce que la liqueur devienne très légèrement acide.

B. — Méthode volumétrique par l'oxyde de zinc et le permanganate de potasse.

Cette méthode est fondée sur la réaction suivante, observée pour la première fois par Antony Guyard en 1863 : une solution neutre de sel de protoxyde de manganèse traitée par le permanganate de potasse forme un précipité de bioxyde de manganèse $3 MnO + Mn^2O^7 = 5 MnO^2$. Elle a été, plus récemment, reprise et perfectionnée par d'autres chimistes, notamment par Volhard, qui lui a donné la forme sous laquelle on l'emploie dans différents laboratoires. Nous croyons devoir la décrire, parce qu'elle a fait l'objet de nombreux travaux et qu'elle se trouve indiquée dans toutes les publications nouvelles; mais elle nous paraît offrir des défauts assez graves. Elle ne convient, en effet, que pour des alliages, dont la teneur en manganèse est assez élevée; elle exige une séparation

préalable de l'oxyde de fer, qui presque toujours occasionne une perte plus ou moins sensible de manganèse; enfin la réaction, qui sert au dosage volumétrique, n'est pas absolument exacte.

On prend une quantité de métal, qui puisse renfermer au moins 0^{gr},3 ou 0^{gr},4 de manganèse. L'attaque se fait par environ 20 centimètres cubes d'acide azotique ($d=1,20$) pour chaque gramme de métal et, au besoin, un peu d'acide chlorhydrique; on se sert pour cela d'une capsule de porcelaine, qu'on recouvre d'un entonnoir de verre retourné; après dissolution complète et addition d'un peu d'azotate d'ammoniaque, on évapore à sec, et on calcine au rouge naissant, de manière à détruire les composés du carbone; on reprend par un peu d'acide chlorhydrique concentré ($d=1,20$) et, lorsque la dissolution est achevée, on verse de l'acide sulfurique en léger excès (3 grammes environ d'acide concentré pour chaque gramme de métal); on chauffe jusqu'à expulsion complète de l'acide chlorhydrique et dégagement de vapeurs blanches abondantes.

Après refroidissement, on ajoute de l'eau en assez grande quantité pour bien redissoudre les sulfates; on fait passer dans une fiole, on neutralise en majeure partie le liquide par une solution de carbonate de soude et on y verse peu à peu, en agitant, une bouillie claire d'oxyde de zinc en suspension dans l'eau. L'oxyde de zinc détermine la précipitation du peroxyde de fer et non celle de l'oxyde de manganèse.

On doit cependant craindre qu'il y ait une quantité sensible de manganèse entraînée, surtout s'il y a beaucoup d'oxyde de fer. On laisse déposer et on fait passer sur un filtre. On acidifie très légèrement le liquide par deux ou trois gouttes d'acide azotique et on chauffe à l'ébullition; on y verse alors avec une burette graduée une solution titrée de permanganate de potasse, en agitant

vigoureusement la fiole, jusqu'au moment où la liqueur, laissée en repos quelques instants, se montre colorée en rose au-dessus du dépôt brun qui se forme; c'est alors que l'on doit, selon Volhard, faire la lecture et calculer la proportion de manganèse; mais il résulte des observations faites dans notre laboratoire que la teinte rose disparaît par une nouvelle agitation, et que cela se reproduit une série de fois, la coloration étant seulement de plus en plus lente à disparaître; il faudrait, en réalité, pour être exact, pousser l'expérience jusqu'à ce que le liquide restât définitivement coloré en rose, ce qui exigerait plusieurs heures d'attente.

On peut parer à cet inconvénient en titrant la solution de permanganate au moyen d'une quantité connue de sel de manganèse dans les mêmes conditions et en s'arrêtant, dans tous les cas, au moment où la teinte rose subsiste pendant quelques minutes; à cette condition, le dosage pourra être exact, si toutefois il n'y a pas eu perte notable par entraînement dans le précipité d'oxyde de fer; mais c'est un grave défaut pour un procédé volumétrique que d'exiger des conditions toujours identiques de concentration, d'acidité, de température, etc., et de ne pas se limiter à l'achèvement visible d'une réaction complète.

Les expériences de Donath (*D. ch. G.*, 1881) et de Gorjeu (*Soc. ch.*, 1893, p. 492) ont montré que, si l'on verse le liquide qui contient le sel manganeux dans un excès de permanganate de potasse, auquel on ajoute du carbonate de soude, et si l'on détermine ensuite ce qui reste de permanganate en dissolution, on peut arriver à un dosage satisfaisant, pourvu que l'on procède très lentement, par petites additions de liquide et ébullition répétée, afin d'éviter la formation de manganite de manganèse ($5 \text{ Mn O}^2. \text{ Mn O}$). Mais alors l'opération exige une durée trop grande pour un dosage de ce genre et pour l'exactitude qu'il comporte.

II. — Métal contenant quelques centièmes de manganèse.

C. — *Méthode pondérale par le chlorate de potasse.*

La méthode suivante nous paraît mériter la préférence sur la première, surtout si le métal ne renferme que quelques centièmes de manganèse. Il est alors complètement attaquable par l'acide nitrique. La réaction sur laquelle ce procédé est basé fut indiquée pour la première fois par Hannay et, presque à la même époque, par Beilstein et Jawein (1878); elle fut appliquée à la séparation du fer et du manganèse par Ford (1881).

On opère sur 1 gramme de spiegel et sur 2 à 3 grammes de fonte.

L'attaque se fait au moyen d'acide azotique ($d=1,20$) ajouté par petites portions à la fois dans un flacon d'Erlenmayer à col étroit ou dans une capsule en porcelaine, sur laquelle on a placé un entonnoir de verre retourné, afin d'empêcher la projection au dehors de gouttelettes liquides. On emploie environ 15 centimètres cubes d'acide pour chaque gramme de métal. Quand l'attaque est terminée, on évapore à sec et après une demi-heure de chauffe on redissout par l'acide azotique.

On étend d'un peu d'eau et on filtre pour séparer le graphite. Il faut ensuite concentrer le liquide jusqu'à production de vapeurs blanches. Lorsque l'on traite un métal riche en silicium, il est utile d'ajouter, suivant le conseil de Wood, quelques gouttes d'acide fluorhydrique à la solution azotique avant la concentration, qui doit alors s'opérer dans un vase de platine.

Dans le cas où il aurait fallu employer un peu d'acide chlorhydrique avec l'acide azotique pour attaquer le métal ou pour redissoudre les oxydes, après l'évapora-

tion à sec destinée à séparer la silice, il serait nécessaire d'évaporer deux ou trois fois, en capsule de porcelaine, avec beaucoup de précaution, afin de chasser les dernières traces d'acide chlorhydrique, sans laisser se former d'oxydes insolubles.

On ajoute 50 centimètres cubes d'acide azotique concentré ($d=1,40$). On chauffe, on entretient une ébullition très douce et on projette dans le liquide du chlorate de potasse en petits cristaux par portions de 0^{gr},5 environ, à une ou deux minutes d'intervalle, aussi longtemps qu'il se fait une réaction vive et qu'on aperçoit des vapeurs d'acide chloreux d'un jaune verdâtre; comme elles sont souvent peu visibles et que rien ne marque la fin de la réaction, on peut prendre pour règle uniforme de verser ainsi, par petites portions, jusqu'à 10 grammes de chlorate. D'autres chimistes procèdent différemment et, après l'addition de 50 centimètres cubes d'acide azotique concentré, mettent en une seule fois 5 grammes de chlorate de potasse en cristaux, chauffent à l'ébullition un quart d'heure, puis versent de nouveau 50 centimètres cubes d'acide azotique ($d=1,40$), ajoutent encore 5 grammes de chlorate et font bouillir un quart d'heure.

On refroidit rapidement en plongeant le vase dans l'eau froide, puis on fait passer sur un filtre d'amiante et on lave, d'abord avec un peu d'acide azotique concentré, puis à l'eau froide, enfin à l'eau bouillante, en se servant de la trompe pour hâter la filtration.

Il importe que l'acide azotique employé soit bien exempt d'acide nitreux, parce que celui-ci présente le grave inconvénient de réduire un peu de peroxyde de manganèse et de le redissoudre; il faut donc éviter l'emploi d'acide coloré en jaune par l'action de la lumière.

Les premières liqueurs acides, recueillies à part (avant le lavage à l'eau), sont réunies, chauffées à l'ébullition

et additionnées de 2 grammes de chlorate, afin de vérifier s'il ne reste plus du tout de manganèse à précipiter; s'il se formait un petit dépôt noir, on le réunirait au premier.

Le manganèse s'est précipité à l'état de bioxyde, de composition bien définie, s'il y a une quantité notable de manganèse; sinon, le dépôt est encore complet, mais brunâtre. Dans tous les cas, il retient de l'oxyde de fer en quantité très sensible (2 ou 3 centièmes au moins) à la suite d'une première précipitation.

Le procédé que nous avons trouvé le plus simple et le plus rapide pour terminer le dosage pondéral, consiste à dissoudre le peroxyde de manganèse impur sur un filtre d'amiante, ainsi que les parties adhérentes à la fiole ou à la capsule, au moyen d'acide nitrique pur additionné d'eau oxygénée; la dissolution se fait très aisément, même à froid; on lave bien le filtre et on évapore, de manière à expulser entièrement l'eau oxygénée et à concentrer la liqueur jusqu'à production de vapeurs blanches épaisses; on y verse alors de nouveau 50 centimètres cubes d'acide azotique concentré ($d = 1,40$) et on recommence la précipitation par 5 grammes de chlorate de potasse, comme dans le premier cas, ébullition d'un quart d'heure, addition de 50 centimètres cubes d'acide azotique concentré et de 5 grammes de chlorate, nouvelle ébullition d'un quart d'heure, puis filtration sur l'amiante et lavage à l'acide et ensuite à l'eau pure. Le peu d'oxyde de fer qui avait été entraîné dans la première précipitation se trouve ainsi éliminé, il n'en reste que des traces tout à fait négligeables après la seconde opération. L'eau oxygénée est d'un emploi extrêmement commode pour décomposer le peroxyde de manganèse et le redissoudre à l'aide d'un peu d'acide azotique pur, sans intervention de l'acide chlorhydrique.

Si l'oxyde de manganèse peut être bien séparé du vase où la précipitation a été faite, il suffira de le calciner et

de peser l'oxyde rouge Mn^3O^4 , sauf à déduire le poids du filtre d'amiante. S'il adhère trop fortement au vase, comme cela arrive souvent, on le dissout sur le filtre et dans le vase par l'eau oxygénée avec quelques gouttes d'acide azotique, on lave bien et on réunit tout le liquide dans un petit creuset taré à l'avance, on évapore et on calcine fortement pour peser l'oxyde rouge Mn^3O^4 .

D. — Dosage volumétrique après emploi du chlorate.

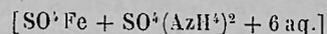
Lorsque l'on a une fois obtenu, par l'acide azotique et le chlorate de potasse, la précipitation complète du manganèse à l'état de bioxyde, on peut évaluer la proportion de ce métal par un dosage volumétrique de l'oxygène disponible; 1 équivalent d'oxygène disponible correspondant à 1 équivalent de manganèse. Williams (1881) et Hampe (1883) furent des premiers à employer cette méthode. L'opération est beaucoup plus rapide que celle du dosage pondéral, si l'on a les liqueurs titrées préparées à l'avance.

On se servira d'acide sulfurique avec une quantité connue d'acide oxalique ou de sulfate double de protoxyde de fer et d'ammoniaque et on déterminera la quantité de réactif non transformé au moyen d'une solution titrée de permanganate de potasse; ou bien on emploiera l'acide chlorhydrique avec un excès d'iodure de potassium et on déterminera l'iode mis en liberté au moyen d'une solution titrée d'hyposulfite de soude.

L'emploi de l'acide oxalique ou du sulfate ferreux est un peu plus simple que celui de l'iodure de potassium. Supposons, par exemple, qu'on veuille se servir du sulfate double de fer et d'ammoniaque; on sépare le filtre d'amiante de l'entonnoir en le poussant de bas en haut avec une baguette mince de verre et on fait tomber le précipité avec l'amiante dans la fiole; on

dissout tout ce qui reste du précipité sur l'entonnoir ou dans la capsule au moyen de 20 centimètres cubes d'une solution acide de sulfate ferroso-ammonique, on lave les vases à l'aide de la pissette, on réunit tous les liquides dans la fiole et on chauffe pour dissoudre l'oxyde de manganèse. Lorsque la dissolution est complète, on titre le sel ferreux restant au moyen du permanganate (W. Hampe).

La solution normale de sel ferreux



est préparée en dissolvant 71^{er},273 de sel pur dans 50 centimètres cubes d'eau, ajoutant un peu d'acide sulfurique et de l'eau jusqu'à 1.000 centimètres cubes; d'autre part, on dissout 5^{er},749 de permanganate pour former 1 litre et on titre cette solution comparativement à la précédente, dont 1 centimètre cube correspond à 0^{er},005 de manganèse.

Ce procédé volumétrique fournit de bons résultats, lorsque la quantité de manganèse est un peu notable, mais s'il n'y en a que quelques centigrammes, le précipité formé par le chlorate n'est plus noir, il est brunâtre, de composition incertaine et moins oxygéné que le bioxyde; le dosage de l'oxygène ne permet plus de déduire celui du manganèse. On peut dire que le procédé convient aux alliages qui renferment plus de 4 p. 100 de manganèse.

La méthode suivante (E) permet de descendre jusqu'à 2 p. 100.

E. — *Méthode volumétrique par l'eau oxygénée et l'ammoniaque* (Ad. Carnot).

Il y a avantage à préparer l'essai de façons différentes, suivant que l'examen porte sur un métal riche ou un métal assez pauvre en manganèse.

1° Supposons d'abord qu'il s'agisse d'un alliage très riche, tel qu'un ferromanganèse renfermant plus de 30 p. 100 de manganèse, ou, en d'autres termes, au plus deux fois autant de fer que de manganèse.

On attaque 1 gramme du métal par l'eau régale (environ 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 5 centimètres cubes d'acide azotique), on chauffe doucement jusqu'à dissolution complète. On peut évaporer à sec pour séparer la silice et reprendre par quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique, puis filtrer et laver; mais cette séparation n'est pas nécessaire. Dans la dissolution étendue d'eau (200 centimètres cubes environ), on verse une dizaine de centimètres cubes d'eau oxygénée pure (à 10 volumes de gaz, comme on la trouve dans le commerce), on sature ensuite par l'ammoniaque ajoutée du premier coup en grand excès, on agite vivement et on porte à 100° pendant dix minutes. L'eau oxygénée en excès est détruite en même temps que le précipité brun foncé prend une consistance qui le fait déposer rapidement. Après quelques minutes de repos, on décante le liquide clair, on le remplace par de l'eau ammoniacale et on chauffe de nouveau à 100° pendant cinq minutes, afin d'être bien sûr que le précipité ne retient plus du tout d'eau oxygénée.

On recueille sur un filtre, on lave à l'eau bouillante, puis on perce le filtre, on fait tomber le précipité, à l'aide d'un jet d'eau distillée, dans la fiole ayant servi à la précipitation et on le traite par la méthode oxydimétrique. Le précipité se compose des hydrates d'oxyde de fer Fe^2O^3 et d'oxyde de manganèse Mn^2O^3 (ou $5\text{MnO}^2 \cdot \text{MnO}$); de nombreuses expériences ont montré la composition invariable de cet oxyde salin de manganèse.

On peut employer divers réactifs pour le dosage volumétrique; nous donnons la préférence à l'acide oxalique; c'est un réactif facile à préparer en solution.

normale et dont le titre se maintient sans variation pendant plusieurs mois, si l'on a la précaution d'envelopper le flacon de papier épais et de le conserver dans une armoire à l'abri de la lumière.

On traite les oxydes précipités par 10 centimètres cubes d'acide sulfurique pur mêlés à 100 centimètres cubes d'eau et à 50 centimètres cubes exactement mesurés d'acide oxalique demi-normal. La dissolution se fait très aisément, en agitant un peu la fiole. On fait ensuite couler avec précaution, d'une burette graduée à robinet de verre, une solution de permanganate de potasse titrée par comparaison avec l'acide oxalique, jusqu'à apparition de la coloration rose persistante. On détermine ainsi la quantité d'acide oxalique, qui n'a pas été transformée en acide carbonique par le suroxyde de manganèse; celui-ci agit seul comme oxydant sur l'acide oxalique, tandis que le peroxyde de fer est sans effet direct et ne commence à gêner la réaction, que lorsque le fer est en quantité à peu près double de celle du manganèse.

La solution de permanganate ayant été titrée par rapport à l'acide oxalique demi-normal, on sait, par différence, la quantité d'acide oxalique transformé et, par suite, la quantité d'oxygène disponible ou la quantité de manganèse correspondante. Il sera commode d'employer, pour éviter tout calcul, une solution de permanganate de potasse correspondant exactement à la liqueur oxalique; on l'obtiendra en dissolvant 15^{gr},81 de permanganate de potasse pur et étendant à 1 litre. Comme il y a exactement cinq équivalents d'oxygène disponible pour six équivalents de manganèse, 1 centimètre cube de la solution demi-normale d'acide oxalique (à 31^{gr},5 par litre) correspond à 16^{mg},5 de manganèse.

La liqueur très légèrement colorée en rose provenant de la détermination volumétrique du manganèse pourra servir au dosage du fer, après réduction par le zinc, à

l'aide du procédé Margueritte. On obtient ainsi par l'emploi d'une même solution de permanganate, agissant après réductions successives sur une même liqueur d'essai, le dosage rapide et exact des deux métaux qui constituent les ferromanganèses.

2° Dans le cas d'un spiegel ou d'une fonte renfermant moins de 30 p. 100 de manganèse ou même n'en renfermant que quelques centièmes, la prise d'essai pourra varier de 1 à 4 grammes; on attaque, comme nous l'avons indiqué en (C), p. 458, par l'acide azotique, on filtre, on concentre par évaporation jusqu'à production de vapeurs blanches, on ajoute 50 centimètres cubes d'acide azotique concentré ($d=1,40$), on chauffe de manière à produire une ébullition douce et on projette avec la spatule de platine du chlorate de potasse en petits cristaux, par pincées de 0^{gr},5 environ, afin de précipiter le manganèse à l'état de bioxyde. La réaction est sûrement complète lorsqu'on a employé 8 à 10 grammes de chlorate. On refroidit rapidement et on verse la liqueur sur un petit filtre d'amiante; on lave dans la fiole et sur le filtre le dépôt noir avec de l'acide azotique concentré et froid, puis avec de l'eau froide. Au lieu de terminer le lavage avec très grand soin, pour procéder au dosage volumétrique comme en (D), p. 461, si l'on a quelque doute sur l'état d'oxydation du manganèse (à cause de la couleur ou de la faible quantité du précipité), on le transforme de la manière suivante.

On redissout sur le filtre et dans la fiole par un peu d'acide azotique mêlé d'eau oxygénée; on ajoute de l'ammoniacale en excès notable, on agite vivement, on porte à l'ébullition pendant dix minutes, on décante sur un filtre, on chauffe de nouveau avec de l'eau ammoniacale pendant cinq minutes à 100°, on décante, on lave à l'eau bouillante, puis on place l'entonnoir sur la fiole lavée, où s'est effectuée la précipitation, et on y fait

passer le précipité en perçant le filtre et lavant avec une pissette.

On redissout le précipité, qui est composé d'oxyde de manganèse Mn^6O^{11} avec un peu de Fe^2O^3 au moyen de 100 centimètres cubes d'eau, 10 centimètres cubes d'acide sulfurique et 20 centimètres cubes exactement mesurés d'acide oxalique demi-normal; la décoloration se fait aussitôt. On verse alors, avec la burette graduée, la solution titrée de permanganate jusqu'à ce qu'il se produise une légère coloration rose persistante. On lit le volume du réactif et on en conclut la proportion de manganèse. Lorsque l'on opère sur les fontes qui contiennent moins de 10 p. 100 de manganèse, il est préférable d'employer pour l'essai volumétrique du précipité 20 centimètres cubes d'une solution d'acide oxalique décinormale, obtenue en dissolvant $6^{gr},3$ d'acide oxalique dans 100 centimètres cubes et étendant à 1 litre; 1 centimètre cube de cette solution correspond à $3^{mg},3$ de manganèse.

L'opération est rapide et les résultats sont bien précis, tant que la proportion de manganèse n'est pas inférieure à 2 p. 100 dans le métal. (*Annales des mines*, 2^e vol. de 1894, p. 550.)

III. — Métal ne renfermant que quelques millièmes de manganèse.

Lorsque la proportion de manganèse dans un fer ou un acier est inférieure à 2 p. 100, on se sert de préférence des méthodes fondées sur la production de combinaisons suroxygénées de manganèse, formant des solutions colorées en rose.

F. — Méthode volumétrique par le bioxyde de plomb.

L'action du bioxyde de plomb sur une solution azotique ou sulfurique de manganèse donne naissance à une co-

loration d'un rose pourpre, qui peut servir à caractériser la présence de très petites quantités de manganèse et accuser jusqu'à 1/10.000 de ce métal dans le fer. Cette réaction caractéristique du manganèse a été indiquée par H. Rose au point de vue qualitatif. Elle a été depuis appliquée à des évaluations quantitatives par Leclerc, utilisée par Boussingault pour l'examen des aciers et modifiée plus récemment par plusieurs chimistes.

L'estimation de la proportion du manganèse dans un fer ou un acier se fait en traitant 1 gramme ou $0^{gr},50$ de métal, suivant sa teneur présumée, par 20 centimètres cubes d'acide azotique et 20 centimètres cubes d'eau distillée, chauffant jusqu'à attaque complète, puis versant en plusieurs fois dans la liqueur bouillante 4 grammes de bioxyde de plomb et renouvelant cette addition au moment où on cesse de chauffer. On agite bien, on ajoute aussitôt de l'eau froide et on transvase dans une éprouvette graduée, qu'on remplit jusqu'à 100 centimètres cubes. Lorsque le bioxyde de plomb s'est déposé, on prend 50 centimètres cubes de la liqueur rose au moyen d'une pipette, on les verse dans un verre à pied, puis on y fait tomber goutte à goutte, d'une burette graduée, une dissolution de nitrate mercureux très étendue, jusqu'à réduction et décoloration complète.

La dissolution de nitrate mercureux a été préparée au moyen de $0^{gr},45$ à $0^{gr},50$ de sel et 100 centimètres cubes d'eau, de façon que 15 à 20 divisions de la burette soient nécessaires pour décolorer $0^{gr},001$ de manganèse. Elle est titrée en faisant la même opération sur un poids donné de manganèse, $0^{gr},100$ par exemple, contenu, soit dans un ferromanganèse exactement analysé, soit dans $0^{gr},1388$ d'oxyde rouge Mn^3O^4 , soit encore dans $0^{gr},1291$ de protoxyde MnO , obtenu par calcination dans un courant d'hydrogène. L'oxyde rouge est dissous dans 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, qu'on chasse en-

suite par évaporation avec 5 centimètres cubes d'acide sulfurique; le protoxyde peut être ensuite dissous directement dans 5 centimètres cubes d'acide sulfurique. On étend de 20 centimètres cubes d'eau, puis on ajoute de l'eau distillée jusqu'à 500 centimètres cubes, pour avoir une dissolution tenant 0^{er},001 dans 5 centimètres cubes de liquide. On produit la suroxydation par le bioxyde de plomb sur 5 centimètres cubes de cette solution sulfurique, traitée exactement comme la dissolution de fer dans le paragraphe précédent, puis on fait disparaître la teinte rose, en versant peu à peu la solution de nitrate mercurieux, et on lit le nombre de divisions de la burette employée : soit n pour 0^{er},001 de manganèse.

On lit de même, pour une opération ultérieure, le nombre des divisions qui ont produit la décoloration exacte; soit n' . Le poids du manganèse contenu dans la prise d'essai est donc égal à $\frac{n'}{n}$ milligrammes.

Bien que la teinte rose ne semble pas se modifier dans un délai de trois ou quatre heures, il est bon d'opérer la décoloration aussitôt que possible (Boussingault).

L'emploi du nitrate mercurieux ne permet pas de dépasser 3 millièmes (0,3 p. 100 de manganèse) avec une précision suffisante. Deshayes a trouvé que l'on pouvait aller jusqu'à une teneur de 0,8 p. 100 et même au delà en opérant sur 0^{er},50 de métal et employant comme réducteur une solution d'arsénite de soude, qu'il prépare en chauffant ensemble 5 grammes d'acide arsénieux en poudre et 10 grammes de bicarbonate de soude avec de l'eau, puis diluant jusqu'à former 1.500 centimètres cubes de réactif. (*Bull. de la Société de l'Industrie minérale*, 1878.)

Périllou (*ibid.*, 1884) a recommandé l'emploi d'une liqueur sulfurique et azotique pour la dissolution du métal, du bioxyde de plomb pour la peroxydation à chaud et

d'une solution titrée de sulfate ferroso-ammonique pour le titrage.

Il estime que l'on peut apprécier ainsi convenablement la teneur en manganèse jusqu'à 5 p. 100, à la condition d'opérer sur des poids de métal de plus en plus faibles, de manière à n'avoir jamais plus de 1 à 1 1/2 centigramme de manganèse à transformer en acide permanganique.

G. — Méthode volumétrique par le tétroxyde de bismuth.

Une autre méthode volumétrique de dosage du manganèse par décoloration de liqueurs permanganiques a été donnée par Léopold Schneider (*Monatsheft f. Ch.*, t. XI; *Bull. Soc. ch.*, 1888). Elle est fondée sur la transformation rapide, à la température ordinaire, des sels de manganèse en acide permanganique par l'addition de tétroxyde de bismuth dans une solution nitrique.

Le tétroxyde Bi^2O^3 s'obtient en fondant, dans une capsule de fer, un mélange de sous-nitrate de bismuth avec son poids de chlorate de potasse et deux fois son poids de soude caustique, puis lavant bien longtemps le produit jusqu'à ce que l'eau de lavage ait perdu toute réaction alcaline au papier de tournesol. On achève d'enlever la soude par digestion avec de l'acide nitrique à 5 p. 100; enfin on lave avec de l'eau acidulée d'abord, puis avec de l'eau pure. Le réactif est jusqu'ici d'un prix élevé dans le commerce (100 francs le kilogramme) et ne s'y trouve pas toujours avec les garanties de pureté désirables.

Pour l'essai d'un acier à 1 ou 2 p. 100 au plus de manganèse, on dissout 1 gramme de métal dans 20 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,20$), on fait bouillir peu de temps et on laisse refroidir, on verse une nouvelle quantité de 25 centimètres cubes d'acide azotique et on agite à froid avec 3 grammes de tétroxyde de bismuth. La liqueur prend aussitôt une teinte violette due à la forma-

tion d'acide permanganique. Après quelques minutes de digestion, pendant lesquelles on sent un dégagement d'ozone, on fait passer sur un filtre d'amiante. On procède ensuite au dosage en versant dans la liqueur colorée par l'acide permanganique de l'eau oxygénée, titrée à 1/2 volume p. 100 environ, jusqu'à décoloration exacte.

Afin d'obvier au changement lent de titre de l'eau oxygénée, il est bon d'en renouveler le titrage chaque jour, en opérant sur un acier de teneur connue en manganèse, exactement comme on le fait sur les aciers à essayer. On peut faire jusqu'à douze et même seize essais dans une heure et la méthode est assez sûre pour qu'on retrouve, sur un même acier, à un mois d'intervalle, des résultats concordants à 1 millième près.

Cette méthode a été introduite avec grand succès dans l'usine de Fourchambault par Nicolas et Meignot. Elle nous a également donné des résultats très satisfaisants. Elle a l'avantage d'être très rapide et simple et présente seulement le défaut d'exiger un réactif coûteux, qu'il faut souvent préparer soi-même.

H. — Méthodes colorimétriques.

On a proposé différents procédés colorimétriques pour l'évaluation de la teneur des aciers en manganèse. Ils sont toujours fondés sur la peroxydation du manganèse en liqueur acide et la formation de solutions colorées en violet et en rouge, que l'on compare à des solutions de teneurs connues, préparées d'une manière analogue. Les unes donnent des composés voisins de l'acide permanganique, d'autres donnent plutôt des sels manganiques, d'une teinte différente.

1. — Coloration par l'acide permanganique.

(a). — Les procédés de Götz, Peters, Pichard sont

fondés sur la peroxydation par le bioxyde de plomb en liqueur azotique, qui a l'avantage de fournir une solution très colorée, convenable surtout pour les teneurs en manganèse inférieures à 1 ou 1,3 p. 100.

On dissout 0^{er},20 du métal au moyen de 15 centimètres cubes environ d'acide nitrique ordinaire dans une fiole de 100 centimètres cubes de capacité, marquée d'un trait; après avoir chauffé et chassé les vapeurs nitreuses, on laisse refroidir; on remplit d'eau distillée jusqu'au trait et on agite pour bien mélanger les liquides. On en prend, avec une pipette, exactement 10 centimètres cubes, contenant 0^{er},02 de fer, qu'on verse dans un petit verre d'environ 50 centimètres cubes de capacité; on y ajoute 2 centimètres cubes d'acide nitrique, on chauffe jusqu'à un commencement d'ébullition, puis on verse du bioxyde de plomb, dont une partie doit rester indissoute, et on fait bouillir quelques minutes. Après refroidissement et dépôt du bioxyde de plomb en excès, on fait passer sur un filtre d'amiante (purifié à l'avance par calcination et traitement au permanganate et à l'eau pure) et on reçoit le liquide dans une éprouvette à pied de 0^m,12 environ de diamètre et de 0^m,25 à 0^m,30 de hauteur, graduée en dixièmes de centimètre cube. On lave le résidu avec peu d'eau, en agitant faiblement, de manière à pouvoir faire passer presque aussitôt le liquide sur le filtre, et on mélange bien les liquides de l'éprouvette. Il faut faire attention qu'il n'y ait pas la moindre partie de bioxyde de plomb en suspension, parce que la teinte de la liqueur paraîtrait plus foncée.

Dans une autre éprouvette, toute pareille à la première, on verse avec une pipette un volume mesuré d'une solution normale obtenue en dissolvant dans 500 centimètres cubes d'eau 0^{er},0718 de permanganate de potasse, qui correspondent à 0^{er},025 de manganèse; 1 centimètre cube de la solution contient donc 0^{mg},05 de manganèse.

Selon la teneur de l'échantillon à essayer ou selon la coloration de la liqueur dans la première éprouvette, on prend 2, 3 ou 4 centimètres cubes de la solution normale, contenant: ou 0^{mg},10, ou 0^{mg},15, ou 0^{mg},20 de manganèse. Puis on ajoute avec précaution de l'eau pure, en mélangeant avec une baguette de verre, jusqu'à ce que les teintes paraissent absolument égales dans les deux éprouvettes, vues devant le jour ou devant une feuille de papier blanc.

On lit alors le nombre de divisions occupées dans les deux éprouvettes; soit n pour la solution normale diluée, n' pour la liqueur d'essai. Si l'on a pris, par exemple, 3 centimètres cubes de la solution normale primitive correspondant à 0^{mg},15 de manganèse, la quantité de manganèse contenue sera: $0^{\text{mg}},15 \frac{n'}{n}$; comme on a opéré sur 0^{gr},020, la teneur pour 100 sera exprimée par $5 \times 0,15 \frac{n'}{n}$.

On recommande de répéter l'essai quatre fois et de prendre la moyenne, pour éviter une erreur accidentelle.

(b). — Le laboratoire de l'École des ponts et chaussées a adopté ce procédé avec quelques modifications.

On dissout 1 gramme d'acier dans l'acide nitrique faible, et, après complète dissolution et expulsion des vapeurs nitreuses par la chaleur, on porte le volume à 100 centimètres cubes par addition d'eau. On prend 20 centimètres cubes de la solution ainsi préparée, correspondant à 0^{gr},20 d'acier; on les verse dans un petit ballon en verre mince de 50 centimètres cubes de capacité avec trait de jauge. On ajoute environ 15 centimètres cubes d'acide nitrique pur; on chauffe à 100°; on y fait tomber 1 gramme de peroxyde de plomb et on agite vivement en continuant à chauffer à ébullition pendant

quelques minutes. On laisse refroidir et on ajoute de l'eau pour parfaire les 50 centimètres cubes; on laisse déposer et on filtre sur un tampon d'amianté. L'intensité de la coloration est mesurée au colorimètre par comparaison avec une liqueur de même volume, contenant une quantité connue de manganèse au même degré d'oxydation. Par exemple, si la liqueur normale renferme 1^{mg},5 de manganèse et que les épaisseurs de liquide, qui produisent des teintes identiques, soient h pour la liqueur normale et h' pour la liqueur d'essai, celle-ci devra contenir $1^{\text{mg}},5 \times \frac{h}{h'}$ de manganèse. La teneur, pour 100, sera $5 \times 0,11 \frac{h}{h'}$.

NOTA. — Il résulte des expériences faites dans notre laboratoire que le manganèse n'est pas, dans la liqueur azotique, exactement au degré d'oxydation marqué par la formule Mn^2O^7 , mais à un degré légèrement inférieur. Il convient donc de prendre pour liqueur de comparaison, dans les deux méthodes précédentes (a) et (b), non pas une solution étendue et titrée de permanganate de potasse, mais une solution formée (dans des conditions absolument semblables à celles de l'essai lui-même), avec 0^{gr},20 d'un acier de teneur connue, voisine de celle que l'on veut apprécier.

La teinte ne se conserve intacte que pendant quelques heures à l'air libre; elle subsiste pendant deux jours environ en flacons couverts et ne s'atténue pas sensiblement pendant une quinzaine de jours, si la solution est au contact de bioxyde de plomb en excès.

(c). — Dans le laboratoire de l'usine de Pittsburg (Pennsylvanie), on procède de la façon suivante :

On dissout 0^{gr},10 de l'acier par 30 centimètres cubes d'acide azotique dilué, à la densité de 1,15 environ (l'acide à la densité de 1,20 ne laissant pas déposer assez vite le bioxyde de plomb introduit). On chauffe dans un tube d'essai en verre épais et d'assez large diamètre (32 millimètres) qu'on pose incliné sur un support; au-

dessus d'une flamme de Bunsen, en ayant soin de recouvrir l'orifice du tube par un creuset de porcelaine, afin d'éviter, autant que possible, les pertes de liquide par évaporation. Il faut faire bouillir jusqu'à ce que les vapeurs rutilantes aient entièrement disparu, ce qui exige quatre ou cinq minutes; à défaut de cette précaution, les composés nitreux pourraient produire une décoloration sensible du liquide.

On retire du feu, on verse, au moyen d'une petite cuiller de platine, environ 0^{gr},50 de bioxyde de plomb (PbO²) (qui doit être, bien entendu, parfaitement exempt de manganèse et que l'on conserve dans un bocal, à l'abri de toutes les poussières organiques et autres). On fait bouillir de nouveau pendant un temps exactement mesuré, une minute et demie. On laisse refroidir cinq minutes et on place alors le tube dans un vase rempli d'eau froide, puis on le laisse en repos pendant environ deux heures et demie à l'abri de la lumière.

Le bioxyde de plomb en excès s'étant bien rassemblé au fond du tube employé à l'attaque et à la suroxydation, on décante le liquide clair dans un tube divisé, de 75 centimètres cubes de capacité, de même verre et de même diamètre que celui qui sert à la comparaison.

On opère de la même façon sur chacun des aciers à essayer et sur un acier type dont la teneur en manganèse a été déterminée avec sûreté par une méthode pondérale.

On ajoute peu à peu de l'eau pure au liquide d'essai, jusqu'à ce qu'on obtienne la teinte du liquide type.

Il faut faire en sorte que les aciers à comparer aient des teneurs peu différentes. Il importe, d'ailleurs, que toutes les circonstances de l'opération soient absolument les mêmes pour le type et pour chacun des essais.

A cette condition, j'ai pu m'assurer que le procédé conduit à des nombres suffisamment approchés pour les besoins industriels.

2. — Coloration par les métaphosphates manganiques.

Les métaphosphates manganiques forment des solutions pourpres, moins colorées que les solutions de permanganate ou d'acide permanganique, mais qui possèdent en présence de l'acide azotique une stabilité beaucoup plus grande; elles peuvent être filtrées au papier et conservées plusieurs jours sans changement de teinte à l'air libre et, mieux encore, en flacons couverts par des verres de montre.

Lorsqu'on verse une solution de métaphosphate de soude dans une solution azotique de chlorures de fer et de manganèse, il se produit un précipité blanc, qui se prend en masse et ne se redissout que difficilement dans un excès de réactif; mais on évite en partie cette précipitation en ajoutant d'un seul coup un suffisant excès du réactif. La coloration du chlorure ferrique disparaît aussitôt et la solution des deux métaphosphates est complètement incolore.

Si l'on agite avec du bioxyde de plomb, le sel ferrique n'éprouve aucune modification et demeure incolore; mais le sel manganéux se transforme en métaphosphate manganique, donnant à la liqueur une coloration rose, dont l'intensité varie avec la teneur en manganèse.

Sur ces faits est fondée la *Méthode colorimétrique d'Osmond* pour évaluer le manganèse dans les aciers ou les fontes à faible teneur (*Bull. Soc. chim.*, 1885, I, p. 66) :

On attaque un quart de gramme ou 0^{gr},250 de métal en copeaux ou en poudre par une petite quantité d'acide chlorhydrique, afin d'éliminer le carbone combiné et de transformer les métaux en chlorures; on évapore doucement à sec, pour chasser l'excès d'acide chlorhydrique,

puis on redissout dans 3 ou 4 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,20$) et on verse d'un seul coup 30 centimètres cubes d'une solution à 12 p. 100 de métaphosphate de soude (*). On agite la liqueur et on y ajoute, par petites portions, 2 ou 3 grammes en tout de bioxyde de plomb, en remuant chaque fois, jusqu'à ce qu'on sente une faible odeur de chlore; on étend aussitôt à 50 centimètres cubes dans une éprouvette marquée d'un trait et on jette sur un filtre double, placé au-dessus du vase où l'on veut recevoir le liquide. Il importe que le contact entre la liqueur et le bioxyde de plomb se prolonge le moins possible après le moment où s'est fait sentir l'odeur du chlore.

La liqueur filtrée est d'un rose plus ou moins clair et doit être comparée à une série de types placés dans des vases de mêmes dimensions, préparés avec du manganèse exempt de fer.

Les vases sont des verres de Bohême bien calibrés, de 40 millimètres de diamètre et de 70 millimètres environ de hauteur; dans chacun d'eux on met une même quantité de liquide (50 centimètres cubes) contenant des proportions croissantes de manganèse, de manière à correspondre aux quantités contenues dans 0^{gr},250 d'acier aux différentes teneurs depuis 0,1 jusqu'à 2 p. 100; le premier type devra donc contenir : 0^{gr},250 \times 0,001, c'est-à-dire 0^{mg},25 de manganèse, et le dernier : 0^{gr},250 \times 0,020, c'est-à-dire 5 milligrammes.

On prépare une solution de métaphosphate manganique tenant 0^{mg},10 de manganèse par centimètre cube; pour cela on fait 50 centimètres cubes de solution avec 50 milligrammes de manganèse ou 69^{mg},4 d'oxyde salin Mn³O⁴. Ce poids d'oxyde pur est dissous par un peu

(*) Cette proportion, un peu plus grande que celle indiquée par Osmond, nous a semblé préférable en pratique.

d'acide chlorhydrique; on évapore à sec, on reprend par 10 centimètres cubes environ d'acide nitrique ($d = 1,20$), on ajoute 100 cubes centimètres d'une solution de métaphosphate de soude à 12 p. 100 de sel fondu et on agite à plusieurs reprises avec 15 grammes environ de bioxyde de plomb (exempt de manganèse et conservé à l'abri de toute poussière). Le liquide acide se colore en rose; lorsque la teinte paraît être bien développée et qu'on sent une légère odeur de chlore, on étend d'eau distillée jusqu'à près de 500 centimètres cubes, on agite bien, on filtre, on lave le dépôt et le filtre avec quelques centimètres cubes d'eau et on complète exactement les 500 centimètres cubes. La solution est ainsi préparée.

Pour former le premier type à 0,1 p. 100 de manganèse, on prend 2^{cm}3,5 de cette solution qu'on verse dans le premier verre et on y ajoute 47^{cm}3,5 d'eau distillée pour compléter les 50 centimètres cubes; pour le second type à 0,2 p. 100, on prend 5 centimètres cubes de la solution et 45 centimètres cubes d'eau, et ainsi de suite :

Pour les teneurs de :	0,1	0,2	0,3	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,8	2,0	0/0
on met, de la solution, } en centimètres cubes :	2,5	5	7,5	20	22,5	25	30	35	45	50	
on ajoute, d'eau dis- } tillée, en centim. cub. :	47,5	45	42,5	30	27,5	25	20	15	5	0	

On range les types, par ordre de teneur, devant une glace dépolie, exposée au Nord; le verre à comparer, provenant de l'attaque de 0^{gr},250 de l'acier à examiner, est présenté à côté des types les plus voisins et intercalé entre les deux qui en diffèrent le moins, par une teinte rose légèrement plus claire dans l'un et plus foncée dans l'autre. L'appréciation de la teneur se fait ainsi d'une façon générale à moins de 0,05 p. 100 près, et, dans les cas les plus favorables, à 0,02 ou 0,03 p. 100 seulement jusqu'à la teneur de 1 à 2 p. 100.

Au-dessus, il conviendrait de faire l'essai sur 1/8 de gramme au lieu de 1/4 de gramme et l'approximation serait moindre.

Pour les aciers à trop faible teneur, on pourrait employer 0^{gr},5 de métal et une solution à 20 p. 100 de métaphosphate, toutes choses égales d'ailleurs; la teneur indiquée par le type devrait alors naturellement être divisée par 2, tandis qu'elle devrait être multipliée par 2 dans le cas précédent.

On éprouve souvent quelque difficulté à faire la comparaison des teintes, parce que la liqueur d'essai est un peu nuancée de jaune; cette coloration, d'autant plus marquée que la liqueur a davantage séjourné au contact du bioxyde de plomb, est attribuée à la formation de persels instables; elle disparaît en grande partie, mais non pas entièrement, au bout de quelques heures.

Les types, après avoir baissé d'intensité du jour au lendemain, se conservent assez bien pendant une huitaine de jours; au bout de ce temps, la teinte varie d'une manière sensible, et il se fait lentement un dépôt blanc. Les liqueurs d'essai, avec leurs sels de fer, se troublent beaucoup plus vite et déposent ordinairement au bout de deux ou trois jours. Il convient donc d'opérer la comparaison quelques heures seulement après la préparation de l'essai et, en général, le lendemain de cette préparation.

(La suite à la prochaine livraison.)

BULLETIN

PRODUCTION MINÉRALE ET MÉTALLURGIQUE DES ILES-BRITANNIQUES
PENDANT L'ANNÉE 1894.

DÉSIGNATION des SUBSTANCES EXTRAITES	QUANTITÉS	VALEUR sur les exploitations	PRIX moyen
1^o Substances minérales.	tonnes	francs	fr. c.
Houille	191.289.965	1.582.055.114	8,27
Lignite	339	2.093	6,17
Schistes bitumineux	2.018.167	12.524.151	6,20
Pétrole	50	2.320	46,40
Minerai de fer	12.565.185	80.468.117	6,40
— des marais	7.928	49.204	6,21
Pyrites de fer	15.771	202.819	12,86
Minerai de plomb	41.249	6.733.614	163,24
— de zinc	22.170	1.697.583	76,57
— de cuivre	5.845	380.785	60,01
Cuivre de ciment	245	58.334	238,10
Minerai d'or	6.709	342.311	51,02
— d'étain	13.117	12.295.330	937,35
— d'uranium	19	20.554	1.081,80
— de manganèse	1.838	18.663	10,15
Ocre, terre d'ombre	8.652	354.089	40,92
Arsenic	4.878	1.226.045	251,34
Pyrites arsenicales	3.340	96.416	28,87
Spath fluor	128	1.740	13,59
Stéatite	10	1.135	113,50
Gypse	135.905	1.673.475	10,73
Barytine	20.986	539.760	25,72
Sulfate de strontiane	6.932	49.482	7,14
Minerai d'aluminium (bauxite)	8.098	141.686	17,50
Schistes alumineux	4.036	12.509	3,10
Argiles (non compris l'argile commune)	3.315.988	20.773.739	6,26
Ardoises	469.060	29.541.851	63,00
Pierres, etc.	711	194.085.958	275,35
Phosphate de chaux	2.271.687	32.206	45,30
Sel	2.271.687	19.258.723	8,47
Valeur totale des substances minérales	»	1.964.609.804	»
2^o Métaux (*).			
Fonte	7.546.179	430.830.410	57,09
Plomb	42.842	10.196.400	238,00
Zinc	25.526	10.210.100	400,00
Cuivre	55.908	60.505.320	1.082,23
Etain	41.369	20.485.250	1.801,85
	kilogr.		
Argent (en kilogrammes)	18.259	1.789.382	98,00
Or (en kilogrammes)	187	530.380	2.836,25
Valeur totale des métaux	»	534.547.542	»

(*) Y compris ceux qui sont tirés de minerais importés.

Production de la houille par comté.

COMTÉS	VALEUR	
	QUANTITÉS	sur les exploitations
Angleterre.	tonnes	francs
Breconshire	241.463	2.123.902
Carmarthenshire	902.737	7.400.204
Cheshire	794.143	6.899.511
Cumberland	2.091.810	15.577.385
Denbighshire	2.393.034	19.058.098
Derbyshire	11.656.141	86.801.540
Durham	33.077.836	224.654.363
Flintshire	808.145	6.436.068
Glamorganshire	24.377.493	232.672.608
Gloucestershire	1.239.355	13.074.805
Lancashire	23.496.000	201.075.353
Leicestershire	1.523.727	12.765.330
Montmouthshire	8.344.567	77.675.910
Northumberland	9.693.859	79.207.067
Nottinghamshire	6.930.979	60.216.306
Pembrokeshire	83.779	1.143.803
Shropshire	693.953	6.029.068
Somersetshire	849.199	9.134.457
Staffordshire	13.441.923	115.043.981
Warwickshire	1.981.717	16.602.351
Westmoreland	1.253	10.413
Worcestershire	902.864	6.536.721
Yorkshire	23.821.324	216.810.464
Totaux	169.350.301	1.416.949.408
Écosse.		
Argyle et Dumfries	119.314	888.501
Ayrshire	2.631.881	19.054.794
Clackmannan	302.381	2.439.430
Dumbarton	406.744	3.449.642
Edinburgh	732.212	5.907.054
Fife	2.828.563	22.819.207
Haddington	252.307	2.035.481
Lanark	12.411.720	90.074.289
Linlithgow	640.771	5.169.369
Peebles et Sutherland	4.709	37.981
Renfrew	50.024	341.479
Stirling	1.114.632	11.654.439
Totaux	21.825.258	163.871.666
Irlande.		
Connaught	9.125	86.202
Leinster	85.994	930.371
Munster	14.138	172.959
Ulster	5.149	43.908
Totaux	114.406	1.234.040
Totaux généraux	191.289.965 (*)	1.589.055.114

(*) Y compris 1.675.088 tonnes d'antracite d'une valeur de 14.324.078 francs; et non compris 339 tonnes de lignite, d'une valeur de 2.093 francs, extraites dans le Devonshire (Angleterre).

(Extrait du Mineral Statistics of the United Kingdom of Great Britain and Ireland.)

MÉTHODES D'ANALYSE

DES FONTES, DES FERS ET DES ACIERS

Par M. AD. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Membre de l'Institut.

(Suite et fin.) (*)

SÉPARATION DU FER DE DIVERS AUTRES MÉTAUX
PAR L'ÉTHÉR (J. Rothe).

Le dosage de plusieurs des métaux, que l'on a le plus fréquemment à chercher dans les aciers, peut être sensiblement facilité par l'emploi préalable d'une méthode de concentration, qui permet de les isoler de la majeure partie du fer. Parmi ces métaux sont le manganèse, le cuivre, le nickel, le cobalt, le chrome et l'aluminium.

La méthode en question, que l'on doit à J. Rothe (**), premier chimiste du laboratoire de recherches techniques de Berlin, est fondée sur cette observation, que l'on peut enlever par l'éther, à une solution chlorhydrique aqueuse, la majeure partie du fer qu'elle contient, pourvu qu'il soit à l'état de perchlorure, sans lui enlever les autres chlorures métalliques. Le fait a été expliqué par la formation d'une combinaison spéciale de l'éther avec une molécule

(*) Voir *suprà*, p. 357-478.

(**) *Mitteilungen aus den Königl. tech. Versuchsanstalten*, 1892; *Eisenhüttenkunde*, de Hermann Wedding, 1893, t. I, p. 680.

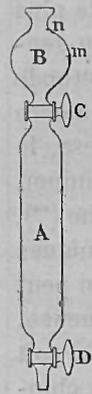
de Fe^2Cl^6 et deux molécules de HCl . Les meilleurs résultats s'obtiennent avec une solution d'acide chlorhydrique à 21 ou 22 p. 100 de gaz ($d = 1,100$ à $1,105$ à 19°C .), parce que cette solution saturée d'éther possède le moindre pouvoir dissolvant pour le perchlorure de fer; plus concentrée, elle le céderait moins aisément à l'éther en excès.

Pour opérer le mélange de la solution chlorhydrique des métaux avec l'éther et ensuite leur séparation, J. Rothe a recommandé l'emploi d'un appareil composé de deux récipients jumeaux fermés à la partie supérieure par des tubes avec robinets de verre et reliés entre eux par le bas au moyen d'un tube deux fois recourbé et d'un robinet à trois voies, permettant de mettre à volonté en communication chacun des récipients avec l'autre ou avec un tuyau de décharge.

J'ai trouvé avantage, pour l'emploi courant, à me servir d'un appareil plus simple, qui est représenté dans la figure ci-contre. Le tube (A) en verre résistant, d'une capacité de 200 centimètres cubes environ (20 centimètres de haut et $3^{\text{cm}},5$ de diamètre intérieur) est muni à ses deux extrémités plus étroites de robinets de verre (C et D); il se termine inférieurement par un tube de décharge de 3 millimètres de diamètre et 3 centimètres de longueur; à la partie supérieure, il porte une boule (B) de 100 centimètres cubes de capacité, portant un trait de jauge à 100 centimètres cubes (m) et un autre à 60 centimètres cubes (n).

L'opération avec cet appareil se conduit de la façon suivante :

5 grammes d'acier sont dissous dans une capsule de platine ou de porcelaine par 40 centimètres cubes environ d'acide chlorhydrique sur le bain d'eau ou de sable; on évapore à sec et on chauffe le résidu au bain d'air pen-



dant quelque temps vers 120° ; on reprend par 20 centimètres cubes environ d'acide chlorhydrique concentré et, après avoir chauffé pour redissoudre tous les oxydes, on ajoute 2 ou 3 volumes d'eau chaude et on filtre, afin de séparer la silice et le graphite, s'il y en a. En l'absence de graphite, Wedding a fait remarquer qu'on pourrait éliminer plus simplement la silice au moyen de cinq à six gouttes d'acide fluorhydrique ajoutées avant l'évaporation; cette addition serait sans inconvénient, selon lui, même dans une capsule de porcelaine.

La solution chlorhydrique est peroxydée par 2 ou 3 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,40$) ajoutée goutte à goutte, à la température d'ébullition, pour éviter une trop abondante formation d'écume; la fin de la peroxydation se reconnaît au changement de couleur de la solution, qui passe du brun au rouge. Le chlore gazeux fournit aussi un excellent moyen de peroxydation et n'a aucun inconvénient pour la suite des opérations. Dans tous les cas, on évapore doucement au bain de sable ou mieux au bain d'eau, jusqu'à n'avoir plus que 10 à 15 centimètres cubes de liquide sirupeux.

On fait passer le liquide dans la boule (B) de l'appareil, en ajoutant à plusieurs reprises dans la capsule, pour la laver, de l'acide chlorhydrique ($d = 1,124$) qu'on verse de là dans la boule jusqu'au premier trait de jauge (m), de manière à avoir un volume total de 60 centimètres cubes. Cette quantité convient pour obtenir, après traitement par l'éther, une solution chlorhydrique aqueuse, dont le poids spécifique sera de $1,100$ à $1,105$.

Pour faire passer le liquide dans le tube (A), on y a introduit, au préalable, quelques gouttes d'éther, on a fermé le robinet (C), puis ouvert et refermé rapidement le robinet (D). Après avoir versé la solution chlorhydrique dans la boule (B), on ouvre de nouveau le robinet (C) et le liquide s'écoule rapidement dans le tube; on referme

le robinet et on remplit la boule d'éther jusqu'au second trait de jauge (*n*). On plonge l'appareil dans une cuve ou un bocal plein d'eau froide et on ouvre un peu le robinet (C) de façon que l'éther coule doucement le long des parois et se superpose à la solution chlorhydrique sans élévation sensible de température.

On fait alors graduellement le mélange : pour cela, on prend le tube à la main, on agite avec précaution en faisant tourner les liquides, on remet dans l'eau, puis on ferme le robinet (C), on couche et relève l'appareil, on rouvre aussitôt le robinet pour éviter une tension trop grande de la vapeur d'éther et on replace dans l'eau; enfin, on referme le robinet, on agite encore pour bien opérer le mélange et on remet dans l'eau froide. On se met ainsi à l'abri d'une réduction partielle du chlorure ferrique, qui pourrait résulter d'un échauffement trop grand.

On voit bientôt se former deux couches liquides très distinctes, la supérieure étant la solution étherée de chlorure ferrique, tandis que l'inférieure est la solution chlorhydrique aqueuse des métaux autres que le fer.

On place sous le tube de décharge une capsule de porcelaine et, maintenant ouvert le robinet supérieur (C), on ouvre aussi avec précaution le robinet inférieur (D), qu'on referme aussitôt qu'on voit arriver à son niveau la solution étherée. On lave le bout du tube avec quelques gouttes d'eau.

On reçoit le liquide étheré à son tour dans une fiole, pour en retirer plus tard l'éther par distillation après addition de 25 à 30 centimètres cubes d'eau. Une seconde distillation sur de la chaux vive donne de l'éther propre à être employé de nouveau.

L'essai plusieurs fois répété du résidu de la distillation a confirmé le fait annoncé par J. Rothe et si important pour le succès de l'opération, que le liquide étheré ne

contient que de simples traces de manganèse, de nickel, de chrome, et que, par conséquent, le dosage de ces métaux peut être fait en n'opérant que sur la solution aqueuse.

Celle-ci, de son côté, ne retient qu'une faible portion du fer, que nous avons trouvée tantôt de 1 centième, tantôt de 1/2 centième. Il est même possible de pousser la séparation plus loin, en remettant la solution aqueuse dans l'appareil avec un nouveau volume de 100 centimètres cubes d'éther et renouvelant le mélange par agitation et ensuite la séparation des liquides.

La purification plus complète que l'on obtient ainsi peut être quelquefois utile pour faciliter le dosage des métaux contenus dans l'acier; mais, en général, elle n'est pas nécessaire.

On trouvera dans la suite quelques applications de cette méthode, notamment pour le dosage du manganèse, du nickel, du chrome, que l'on commence par isoler de la majeure partie du fer en dissolvant le chlorure ferrique par l'éther.

DOSAGE DU CHROME.

Le chrome se rencontre rarement dans les fontes : on en a cependant cité qui renferment jusqu'à 2 p. 100 de chrome. On l'introduit surtout dans les aciers pour leur donner des qualités spéciales, notamment une très grande dureté; la teneur des aciers peut aller de quelques millièmes à quelques centièmes. Cette introduction se fait sous la forme d'alliages de chrome et de fer, désignés sous le nom de *ferrochrome*, où la teneur en chrome peut s'élever jusqu'à 64 et même 70 p. 100.

Les alliages riches sont le plus souvent inattaquables ou incomplètement attaquables par les acides et doivent

être désagrégés par voie sèche. Les fontes ou aciers à faible teneur s'attaquent par les acides sulfurique et chlorhydrique, plus difficilement par l'acide azotique.

I. — Désagrégation et séparation du chrome.

a. — Le meilleur procédé de désagrégation des alliages les plus riches est la fusion au creuset d'argent dans la potasse pure avec projection d'un peu de chlorate de potasse pour achever la réaction. En opérant sur une prise d'essai de 0^{gr},20 à 0^{gr},50 de la matière en poudre impalpable, on arrive généralement à une désagrégation complète au moyen de trois attaques successives. (La soude convient moins bien que la potasse, parce qu'elle nuit au titrage ultérieur de l'acide chromique; aussi réserve-t-on l'emploi du carbonate de soude pour préparer le dosage des autres éléments: silicium, phosphore, soufre, manganèse, etc.) On reprend ensuite par l'eau, on lave le résidu à l'eau bouillante et l'on a ainsi dans la dissolution tout le chrome à l'état de chromate (Laboratoire de l'usine de Saint-Jacques, à Montluçon).

b. — Dans quelques laboratoires on préfère l'attaque au bisulfate de potasse, qui a l'avantage de pouvoir se faire au creuset de platine; cela convient surtout aux ferrochromes de teneur moyenne et aux aciers chromés difficilement attaquables par les acides. On prend 1 gramme de ceux-ci ou 0^{gr},50 des premiers, réduits en poudre impalpable au moyen d'un foret en acier dur au tungstène; on fond à l'avance, dans un grand creuset de platine, quinze parties de bisulfate, puis on laisse refroidir et on répand la poudre métallique à la surface. On chauffe très lentement d'abord, tant qu'il y a une effervescence, et on porte ensuite au rouge cerise pendant dix minutes. Après refroidissement, on détache le

culot blanc verdâtre et on l'examine avec soin; s'il est homogène, on considère l'action comme ayant été complète; s'il reste des points noirs dus au métal inattaqué, il convient de fondre de nouveau et de prolonger l'action de la chaleur. On est souvent obligé de recommencer plusieurs fois la fusion, avec addition d'un peu de bisulfate. On concasse ensuite le culot grossièrement et on traite par trois quarts de litre environ d'eau distillée; on chauffe pour rendre la dissolution complète, on acidifie légèrement par l'acide sulfurique, on chauffe vers 120°, on reprend par l'eau et on sépare la silice sur un filtre; puis on ajoute de l'ammoniaque en excès et on porte à l'ébullition pendant cinq minutes, pour chasser l'excès d'ammoniaque et précipiter les oxydes de fer et de chrome, qu'on reçoit sur un filtre sans plis; on lave deux ou trois fois à l'eau bouillante, on laisse bien égoutter, puis, ouvrant le filtre, on fait tomber le précipité dans une capsule de platine, où l'on a mis 8 grammes de nitre et 2 grammes de carbonate de potasse; on mélange avec la spatule de platine, on dessèche et on fond sur un bec Bunsen pendant un quart d'heure, de manière à transformer tout le chrome en chromate alcalin, qu'on dissout ensuite par l'eau chaude. L'oxyde de fer reste insoluble et doit être bien lavé sur le filtre; la liqueur filtrée renferme tout le chrome à l'état de chromate. Elle est prête pour un dosage pondéral ou volumétrique (Boussingault).

c. — Les aciers chromés à faible teneur, complètement attaquables par les acides, peuvent être pris en poudre ou à l'état de copeaux minces; on attaque de 1 à 3 grammes, suivant la teneur présumée, par l'acide chlorhydrique dans une capsule de platine, qu'on recouvre pour empêcher les pertes; on évapore à siccité, puis on ajoute trois ou quatre parties de carbonate de po-

tassé pur et sec et on chauffe; on maintient en pleine fusion pendant un quart d'heure, en projetant à plusieurs reprises un peu de nitre pulvérisé et remuant avec la spatule de platine. Après refroidissement, on traite par l'eau bouillante, qui dissout entièrement le chromate avec d'autres sels alcalins (manganate, silicate, carbonate, chlorure...).

La masse d'oxyde de fer reste insoluble et doit être bien lavée par décantation sur un filtre. La liqueur peut être colorée en jaune par le chromate; mais il peut arriver aussi que cette coloration soit masquée par celle du manganate alcalin, d'une couleur verte bien plus intense. On acidifie par l'acide azotique, on évapore à sec et on maintient quelque temps à 100° au bain-marie pour rendre la silice insoluble; on reprend par l'acide azotique étendu, qui dissout tout le chromate et laisse insoluble tout ou presque tout le manganèse à l'état de bioxyde avec la silice. S'il a passé un peu de sel manganéux dans la dissolution, il ne gêne pas pour le dosage pondéral ou volumétrique de l'acide chromique.

d. — La transformation du chrome en acide chromique peut s'opérer par voie humide, aussi bien que par voie sèche, à la condition que la liqueur ne renferme pas de chlorure; il conviendra donc de faire l'attaque par l'acide azotique, par l'acide sulfurique ou par le bisulfate de potasse; après évaporation du liquide dans une capsule un peu grande, on reprend par 20 centimètres cubes d'acide azotique concentré ($d = 1,40$) et on projette, par petites quantités à la fois, du chlorate de potasse en cristaux dans le liquide chauffé à 100° environ; il se fait une oxydation très vive et le sel d'oxyde de chrome passe à l'état d'acide chromique. Cette réaction, indiquée par Storer et de nouveau étudiée par Baubigny, produit une transformation complète. On ajoute de l'eau,

puis on précipite l'oxyde de fer par le bicarbonate de soude pur et, après un bon lavage, on procède au dosage du chrome. La séparation a le défaut de n'être pas extrêmement nette; il reste des traces de chrome avec le fer et un peu d'oxyde de fer échappe à la précipitation.

e. — On arrive à un résultat semblable en opérant la suroxydation du chrome par le permanganate de potasse ou par le bioxyde de plomb.

On attaque les copeaux de métal par l'acide sulfurique étendu de six fois son volume d'eau et on chauffe à l'ébullition pendant quelques minutes. On peroxyde le fer et on transforme en partie le carbone par quelques gouttes d'acide azotique ajoutées avec précaution. On verse ensuite du permanganate de potasse en solution concentrée, qui achève de brûler le carbone et donne lieu à la suroxydation du chrome au dépens de l'acide permanganique. Il y a, par conséquent, formation de sel manganéux, qui, en présence d'un léger excès de manganate, forme un précipité brun de bioxyde. Après une courte ébullition, on jette le précipité sur un tampon d'amiante, on filtre et on lave à la trompe; le liquide doit montrer la teinte jaune caractéristique de l'acide chromique. S'il est coloré en rose par un petit excès d'acide permanganique, on décompose celui-ci en mettant dans le liquide un morceau de papier filtre et chauffant à l'ébullition jusqu'à ce que la teinte rose ait disparu; on ne réduit ainsi que l'acide permanganique et non l'acide chromique, dont on fait alors le dosage (Laboratoire de l'usine Saint-Jacques).

f. — Le bioxyde de plomb est employé à peu près de la même façon que le permanganate de potasse.

On prend une quantité de métal pouvant renfermer de 0^{gr},01 à 0^{gr},02 de chrome; on traite par l'acide azotique avec quelques gouttes d'acide sulfurique, on porte à

l'ébullition et on projette, en plusieurs fois, une quantité totale de 10 à 15 grammes de bioxyde de plomb, qui donne aussitôt naissance à de l'acide chromique. (S'il y avait du manganèse dans le métal, il se ferait de l'acide permanganique rose, qu'il faudrait détruire, comme plus haut, par ébullition en présence d'un petit morceau de papier filtre). On étend d'eau, on filtre sur de l'amianté en s'aidant de la trompe, puis on procède au dosage.

II. — Dosage pondéral.

Lorsque l'on a effectué la séparation du fer à l'état d'oxyde insoluble et du chrome à l'état de chromate en dissolution, on peut recourir à divers moyens de dosage du chrome. Les méthodes volumétriques offrent de grands avantages au point de vue de la rapidité sur les méthodes pondérales; celles-ci, d'ailleurs, pour donner de bons résultats, exigent certaines conditions, auxquelles il n'est pas toujours facile de satisfaire à la suite des premières opérations effectuées.

A. — Les procédés de désagrégation, qui fournissent une dissolution de chromate alcalin exempte de chlorure et de sulfate (comme 1 et 2), permettent de doser le chrome à l'état de *chromate de plomb*; la solution est nettement acidifiée par l'acide acétique ou très faiblement par l'acide nitrique, puis additionnée d'azotate de plomb. Il se produit un précipité d'un beau jaune, qu'on laisse déposer, qu'on lave bien et qu'on reçoit sur un filtre taré; après lavage et dessiccation à 100 degrés, on pèse le chromate de plomb (p); on peut aussi le détacher du papier et chauffer au rouge sombre avant de peser CrO^3PbO . La teneur, pour 100, est :

$$\text{Cr} = 46,22 \frac{p}{n}.$$

B. — Dans les mêmes cas, la liqueur ne contenant ni sulfate, ni chlorure, on peut opérer la précipitation sous la forme de *chromate mercurieux* et peser à l'état d'*oxyde de chrome*. La solution alcaline est neutralisée par l'acide azotique; on la rend très faiblement acide et on y verse une solution d'azotate mercurieux; il se fait un précipité rouge, dont le dépôt, très lent à froid, s'effectue plus vite un peu au-dessous de 100 degrés; on le lave par décantation, puis sur filtre, avec une solution étendue d'azotate mercurieux; on sèche, on sépare le filtre qu'on brûle, on calcine lentement le précipité dans un creuset de porcelaine taré, sous une cheminée dont le tirage entraîne les vapeurs mercurielles, et on pèse l'oxyde Cr^2O^3 (H. Rose, Boussingault) :

$$\text{Cr} = 68,62 \frac{p}{n}.$$

On peut aussi, dans les quatre premiers cas, après séparation de l'oxyde de fer, réduire l'acide chromique, puis précipiter et peser l'*oxyde de chrome* par l'un des procédés suivants (C ou D).

C. — On opère très sûrement la réduction en acidifiant légèrement par l'acide chlorhydrique, ajoutant de l'ammoniaque en excès et faisant arriver un courant d'hydrogène sulfuré jusqu'à saturation, puis portant à l'ébullition (Baubigny).

Il convient de faire bouillir assez longtemps, jusqu'à expulsion presque complète de l'ammoniaque, et pour cela, de se servir d'une capsule de platine, pour éviter l'attaque du verre et avoir un précipité exempt de silice.

On lave bien, par décantation et sur le filtre, à l'eau bouillante, pour enlever les sels alcalins; il est prudent de redissoudre par l'acide chlorhydrique et de précipiter

une seconde fois par l'ammoniaque sans excès notable à l'ébullition; on filtre, on sèche et on calcine avec lenteur; on couvre le creuset, quand on arrive au rouge, pour n'avoir pas de perte par projection, au moment où les petites masses d'oxyde de chrome deviennent incandescentes.

(Si l'on a employé la méthode de Storer (4), on peut craindre que l'oxyde de chrome renferme un peu de silice et d'oxyde de fer; il est bon de redissoudre par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, d'évaporer à sec, de reprendre par l'eau, de filtrer et de précipiter par quelques gouttes d'ammoniaque la petite quantité d'oxyde de fer; on calcine et pèse, afin de retrancher du poids trouvé pour l'oxyde de chrome. Le procédé est donc moins satisfaisant.)

D. — La réduction de l'acide chromique peut aussi s'opérer très rapidement au moyen de l'eau oxygénée; on acidifie légèrement la liqueur alcaline par l'acide chlorhydrique, on ajoute quelques centimètres cubes ou quelques gouttes d'eau oxygénée pure, suivant que la liqueur était plus ou moins colorée en jaune; elle se teinte en bleu plus ou moins foncé, puis se décolore en peu d'instant et tourne au vert; quand une nouvelle addition d'eau oxygénée ne produit plus aucune coloration bleue, il ne reste plus d'acide chromique, mais un sel de sesquioxyde de chrome. On fait passer dans la liqueur un courant d'hydrogène sulfuré pour détruire tout excès d'eau oxygénée, puis on ajoute de l'ammoniaque et on porte à l'ébullition (Ad. Carnot). Le dosage s'achève comme ci-dessus.

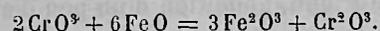
III. — Dosage volumétrique.

La détermination par liqueur titrée du chrome, lorsqu'il est à l'état de chromate, est beaucoup plus rapide que le dosage pondéral. Elle repose toujours sur une réduction opérée en liqueur acide.

On peut d'ailleurs employer, comme réducteur, soit l'acide oxalique, soit le sulfate de fer et d'ammoniaque (sel de Mohr), soit l'iodure de potassium, etc., soit enfin l'eau oxygénée. Nous nous bornerons à décrire la méthode du sel de Mohr et celle de l'eau oxygénée, qui sont les plus commodes.

E. — Par le sel de Mohr.

On ajoute de l'acide sulfurique étendu à la solution de chromate alcalin, jusqu'à ce qu'elle présente une acidité bien marquée; on y verse alors une quantité connue de sel de Mohr (sulfate ferroso-ammonique), plus que suffisante pour produire la réduction de l'acide chromique, suivant la formule :



Puis, au moyen d'une solution titrée de permanganate de potasse, on détermine la quantité de sel ferreux qui n'a pas été peroxydée et, par différence, la quantité qui a servi à réduire l'acide chromique.

Comme deux équivalents de chrome (52,48) correspondent, dans la réaction précédente, à 6 équivalents de fer (168) ou à 6 équivalents de sel de Mohr (1.176), on aura 1 de chrome pour 22,41 de sel de Mohr; si l'on dissout 22^{gr},41 de ce sel dans 1 litre d'eau, chaque centimètre cube du réactif correspondra à 1 milligramme de

chrome. Quant à la solution de permanganate, on la préparera en dissolvant 5 ou 6 grammes de ce sel dans 1 litre d'eau distillée et on la titrera par rapport à la solution du sel de Mohr.

Si l'on préfère se servir de dissolutions normales, il faudra dissoudre 11^{gr},76 de sel de Mohr dans 1 litre d'eau; chaque centimètre cube de cette solution correspondra à 0^{mg},5248 de chrome.

Lorsqu'on verse le sel ferreux en excès dans la solution sulfurique contenant l'acide chromique, la solution passe du rougeâtre au vert émeraude; puis, quand on fait couler de la burette la solution de permanganate, le passage du vert au rose est assez brusque; il est cependant signalé par l'apparition d'une couleur gris sale et l'on est ainsi prévenu qu'il ne faut plus verser le permanganate que goutte à goutte.

F. — *Par l'eau oxygénée* (Ad. Carnot).

Le dosage par l'eau oxygénée étendue et titrée est fondé sur l'observation suivante : dans une solution de chromate, faiblement acidifiée par l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique, l'addition d'un peu d'eau oxygénée produit une coloration bleue (réaction de Barreswil), due à une combinaison d'acide perchromique et d'eau oxygénée (Berthelot); la coloration bleue disparaît au bout de quelques secondes par suite d'une décomposition réciproque des deux suroxydes; l'eau oxygénée est détruite, l'acide perchromique est ramené à l'état de sel de sesquioxyde de chrome.

Si l'on ajoute une nouvelle quantité d'eau oxygénée, la coloration bleue se montre et disparaît de nouveau; le phénomène se reproduit aussi longtemps qu'il reste de l'acide chromique dans la liqueur. La quantité d'acide

chromique réduit est exactement proportionnelle à la quantité d'eau oxygénée introduite; on peut donc déterminer la quantité d'acide chromique ou la quantité de chrome en mesurant le volume de l'eau oxygénée; celle-ci est titrée par une opération semblable au moyen d'une solution connue de bichromate de potasse.

On fait une solution de bichromate à 1 gramme de chrome par litre ou 1 milligramme par centimètre cube en employant 2^{gr},812 de bichromate de potasse bien desséché ou fondu, dissolvant dans l'eau et formant exactement 1 litre. Cette solution se conserve sans altération dans un flacon bouché.

On emploie de l'eau oxygénée très étendue, par exemple celle qui renferme 10 volumes d'oxygène environ, étendue de 10 fois son volume d'eau pure et présentant dans ces conditions une assez grande stabilité à la température ordinaire. On la titre au moyen de la solution de bichromate, en prenant de celle-ci un volume contenant une quantité de chrome assez voisine de celle que l'on peut avoir à doser, afin que les phénomènes de coloration soient bien comparables.

Pour faire le titrage, on met dans un verre à fond plat ou dans une fiole un volume exactement mesuré (10 ou 20 centimètres cubes) de la solution de bichromate; on ajoute environ 40 ou 30 centimètres cubes d'eau pure, de manière à former toujours à peu près le même volume total; on y verse 1 centimètre cube d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique pur étendu de trois parties d'eau et on fait couler l'eau oxygénée de la burette graduée à robinet de verre dans la solution de bichromate tenue au-dessus d'un papier blanc.

Les premières gouttes produisent d'abord dans le liquide jaune des taches de teinte sombre, qui disparaissent bientôt; puis le liquide prend une coloration bleue qui disparaît également par agitation; il passe peu à peu

au vert. On s'arrête aussitôt que la dernière goutte a cessé de produire une tache bleue et on note le volume d'eau oxygénée employé à ce moment.

Pour que la coloration passagère en bleu reste bien visible jusqu'à la fin, malgré la teinte verte de plus en plus marquée que prend la liqueur, il convient que la proportion de chrome ne dépasse pas 1 décigramme.

On opère de la même façon sur la solution de bichromate à doser, après avoir neutralisé exactement la liqueur et ajouté 1 centimètre cube d'acide sulfurique et de l'eau jusqu'à 50 centimètres cubes environ. En faisant couler l'eau oxygénée de la burette, on observe les mêmes phénomènes de coloration et on s'arrête à la dernière goutte, qui ne produit pas de coloration bleue.

On compare les volumes d'eau oxygénée employée, V et V' ; si le volume de la solution titrée était 10 centimètres cubes, $10^{\text{ms}} \times \frac{V'}{V}$ exprimera le poids du chrome, qui se trouvait à l'état de chromate dans la solution provenant de la prise d'essai. (*Annales des mines*, 1894, t. II, p. 550.)

G. — Dosage du chrome et du manganèse.

Dans le cas où l'acier contiendrait à la fois du *chrome* et du *manganèse*, on pourrait les doser l'un et l'autre d'une manière approchée et rapide par le procédé suivant, en supposant que le métal soit assez facilement attaquant. On dissout 1 gramme d'acier en copeaux par une liqueur acide composée de : 10 parties d'acide azotique, 2 parties d'acide sulfurique et 10 parties d'eau. Quand la dissolution est complète, on ajoute dans la liqueur bouillante 5 grammes de bioxyde de plomb, puis, quelques minutes après, 5 autres grammes, et on re-

froidit aussitôt en versant de l'eau froide et plongeant dans l'eau.

Le chrome passe entièrement à l'état d'acide chromique, le manganèse à l'état de composé rose, dont la formule n'est pas très bien définie, mais qui est la même dans tous les essais (Boussingault, U. Le Verrier). On filtre sur de l'amianté et on fait les deux dosages sur la même liqueur ou sur deux parties égales de la liqueur.

Pour opérer sur la même solution, on emploie d'abord une solution d'arsénite de soude, qui réduit aussitôt, à froid, le composé manganique et non l'acide chromique, en s'arrêtant lorsque la coloration rouge orangé disparaît et fait place au jaune franc. On dose avec plus de précision en revenant à une teinte rose légère au moyen de permanganate. On fait ensuite la réduction avec le sel de Mohr, jusqu'à production de la teinte verte et on revient encore, par le permanganate, à une teinte rose légère, comme la première fois. Avec un peu d'habitude, on fait ces dosages avec assez d'approximation (Le Verrier).

Si l'on a divisé en deux moitiés la solution obtenue, on fait les deux opérations suivantes : sur l'une des parties, on effectue la réduction des deux composés (manganique et chromique) par le sel de Mohr et on revient par le permanganate jusqu'à apparition de la teinte rose persistante; sur l'autre, on commence par détruire le composé manganique en faisant bouillir avec un morceau de papier-filtre, jusqu'à ce que la teinte rose ait disparu. Il ne reste plus alors que l'acide chromique non réduit; on le dose par le sel de Mohr et le permanganate. Par différence entre les deux opérations, on a la quantité de sel de Mohr correspondant au composé manganique, ce qui permet d'évaluer la proportion de manganèse.

ACIERS AU NICKEL.

On a, depuis quelques années, introduit le nickel dans la fabrication des aciers, qui acquièrent de ce fait une résistance à la rupture et une élasticité très supérieures à celles des aciers ordinaires. La proportion de nickel peut varier, suivant les usages, depuis 1/2 ou 3/4 p. 100 jusqu'à 3 et même 5 p. 100.

La détermination par analyse de la proportion du nickel contenu offre quelque difficulté à raison de la grande quantité de fer, dont il faut le séparer. Les opérations se simplifient beaucoup, si l'on commence par appliquer la méthode de Rothe, c'est-à-dire par éliminer la majeure partie du fer à l'état de perchlorure, qui se dissout dans l'éther, tandis que les autres chlorures métalliques restent dans la solution aqueuse.

La proportion de nickel étant supposée ne pas dépasser quelques centièmes, on procède à l'opération dans les conditions mêmes, qui ont été précisées plus haut (page 482), en opérant sur 5 grammes d'acier.

Une seule opération bien conduite, dans l'appareil que j'ai décrit, fait passer dans la solution chlorhydrique la totalité des chlorures de nickel et de manganèse avec 1/100 au plus du perchlorure de fer, tandis que tout le surplus du sel ferrique est retenu dans la solution étherée.

La première liqueur seule est utilisée pour l'analyse.

On chasse la petite quantité d'éther qu'elle contient, en chauffant au bain-marie et poussant presque à siccité. On ajoute de l'eau, puis 2 ou 3 centimètres cubes d'eau oxygénée et enfin de l'ammoniaque en assez grand excès. On fait bouillir dix minutes et on filtre. Les oxydes de fer et de manganèse sont précipités en totalité; mais ils retiennent un peu de nickel, qu'on doit leur enlever par

une seconde précipitation semblable (acide chlorhydrique, eau, eau oxygénée, ammoniaque, ébullition).

Les deux métaux précipités sont à l'état d'oxydes Fe^2O^3 et Mn^6O^{11} ; en appliquant la méthode volumétrique, qui a été indiquée à la page 464, on peut calculer exactement le manganèse, malgré la présence d'une quantité comparable d'oxyde de fer. On dissout le précipité encore humide sur le filtre par un mélange formé de 10 centimètres cubes d'acide sulfurique, 100 centimètres cubes d'eau et 10 ou 20 centimètres cubes exactement mesurés d'acide oxalique titré; on lave le filtre à l'eau pure et on verse dans la solution, au moyen d'une burette graduée, du permanganate de potasse titré jusqu'à coloration rose. On a ainsi, par différence, l'acide oxalique correspondant à l'oxygène libre du composé Mn^6O^{11} .

La solution ammoniacale contenant le nickel (*) est additionnée d'acétate et de sulfhydrate d'ammoniaque, décomposée par l'acide acétique en excès notable et portée à l'ébullition. On reçoit sur un filtre exempt de cendres le sulfure de nickel mêlé de soufre. On s'assure que le liquide filtré ne renferme plus de nickel, en y ajoutant de l'ammoniaque et du sulfhydrate, qui ne doit pas le colorer en noir; sinon, il y aurait lieu de faire bouillir une seconde fois avec de l'acide acétique et de réunir le nouveau précipité au premier.

On sèche et on grille le filtre avec le précipité contenu, puis on traite les cendres par l'acide azotique, afin

(*) Dans le cas où il y aurait du cuivre, il faudrait tout d'abord acidifier fortement la liqueur par l'acide chlorhydrique et la soumettre à un courant d'hydrogène sulfuré. Le sulfure de cuivre précipité serait recueilli et pesé après calcination dans l'hydrogène, donnant Cu^2S . On ajouterait alors de l'ammoniaque à la liqueur filtrée et on continuerait de même pour arriver au dosage du nickel.

d'être sûr de ne pas laisser de sulfure. On évapore et on calcine dans un petit creuset taré, pour peser l'oxyde de nickel NiO. On a, en centièmes :

$$\text{Ni} = 78,67 \frac{p}{n}$$

Le dosage sous forme d'oxyde peut être contrôlé par la pesée du nickel métallique, obtenu en soumettant l'oxyde à la réduction par l'hydrogène au rouge dans le creuset taré.

ACIERS AU NICKEL ET AU CHROME.

On fait aujourd'hui des aciers au nickel et au chrome, dont les propriétés, notamment la résistance, l'élasticité, le magnétisme sont extrêmement remarquables. Ces aciers peuvent renfermer jusqu'à 25 et 30 p. 100 de nickel, jusqu'à 3 et 4 p. 100 de chrome et souvent un peu de manganèse.

Pour la détermination de ces trois métaux, nous avons obtenu de bons résultats en éliminant d'abord la presque totalité du fer par le procédé Rothe et continuant comme il sera dit ci-après.

Le nickel et le chrome étant en proportions élevées, il convient de n'opérer que sur 2 grammes d'acier; on attaque dans une capsule par l'acide chlorhydrique, on évapore à sec pour séparer la silice, on redissout et on évapore de nouveau au bain-marie jusqu'à réduire la solution acide à un volume de 5 à 6 centimètres cubes; enfin on la fait passer dans la boule de l'appareil décrit à la page 482, en ajoutant par portions 25 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ($d = 1.124$), dont on lave bien la capsule.

Après avoir introduit la liqueur dans le tube cylindrique, on y fait pénétrer doucement 60 centimètres cubes

d'éther et on opère le mélange, puis le brassage avec les précautions déjà indiquées et on fait écouler, après repos, la solution chlorhydrique aqueuse.

Pour ne laisser aucune trace sensible de nickel dans la solution éthérée, restée dans le tube cylindrique, on y fait descendre 6 à 8 centimètres cubes d'acide chlorhydrique étendu ($d = 1,00$ à $1,05$ à 19°C) et on brasse les deux liquides comme la première fois. On fait ensuite écouler la solution aqueuse que l'on réunit à la première. Elle contient la totalité du nickel, du chrome et du manganèse avec une très petite portion du fer à l'état de perchlorure (1/100 au plus, si l'opération a été bien conduite) (*).

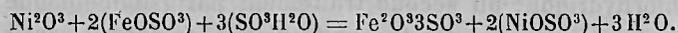
On évapore presque à sec, au bain-marie, on reprend par de l'eau et, au besoin, quelques gouttes d'acide chlorhydrique, puis on fait passer la solution dans un verre ou une fiole et on la traite à la température d'ébullition par l'ammoniaque en excès, qui précipite la totalité du fer, du chrome et du manganèse (celui-ci étant en faible quantité), tandis que le nickel reste dissous. Le précipité, assez peu volumineux, est repris par l'acide chlorhydrique; un second traitement par l'ammoniaque n'y laisse plus que des traces de nickel (ce dont il serait facile de s'assurer par une troisième précipitation et une addition de sulfhydrate à la liqueur ammoniacale).

1° — Dosage du nickel.

La solution ammoniacale de nickel est chauffée à l'ébullition jusqu'à ce qu'elle n'ait plus d'odeur; on y ajoute alors de la potasse caustique et on fait bouillir de nouveau pour expulser entièrement l'ammoniaque. On laisse

(*) J. Rothe a signalé l'utilité de cette même opération pour le cuivre et le cobalt.

refroidir un peu et on ajoute une petite quantité de brome, qui transforme en quelques instants l'hydrate de protoxyde de nickel en sesquioxyde noir et grenu. Après ébullition nouvelle, on laisse reposer, on décante sur un filtre, on reprend par l'eau bouillante et cela quatre ou cinq fois, pour éviter de filtrer; on détermine alors la quantité de nickel par un essai oxydimétrique, en employant une quantité mesurée de sulfate ferreux ou d'acide oxalique et acidifiant par l'acide sulfurique; puis, lorsque tout est dissous, la coloration brune ayant disparu, on détermine l'excès du réducteur par une solution titrée de permanganate de potasse. On peut tenir compte de la quantité, ordinairement insignifiante; d'hypobromite alcalin resté dans le liquide qui baigne le sesquioxyde de nickel, en faisant la même opération sur un égal volume du dernier liquide décanté. Quant aux petites portions du précipité qui se trouvent sur le filtre, on les dissout par un peu de la liqueur oxalique ou ferreuse mesurée pour le titrage, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique, et on réunit la portion filtrée au reste de la liqueur.



56 parties de fer, sous la forme de sel ferreux, correspondent à 59 parties de nickel métallique, ramenées de l'état de sesquioxyde à celui de protoxyde de nickel.

On peut aussi employer un dosage pondéral, en recevant sur un filtre le sesquioxyde de nickel, lavant bien, calcinant et soumettant à la réduction par l'hydrogène au rouge, pour peser le métal.

2° — Dosage du chrome.

Le précipité formé par l'ammoniaque à l'ébullition, contenant les oxydes de fer, de manganèse et de chrome est

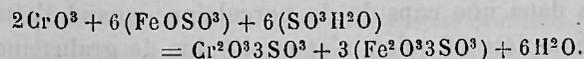
dissous, encore humide sur le filtre, par l'acide sulfurique étendu. On verse dans la solution de l'eau oxygénée et de la potasse, puis on chauffe jusqu'à ébullition; on ajoute à plusieurs reprises un peu d'eau oxygénée pour transformer l'oxyde de chrome en chromate; puis, afin d'être sûr de ne pas laisser d'oxyde de chrome dans la partie insoluble, on redissout celle-ci, après décantation du liquide et lavage, par un peu d'acide sulfurique étendu et on fait agir de nouveau l'eau oxygénée et la potasse, puis on lave le résidu à l'eau chaude.

Les dissolutions alcalines réunies renferment tout le chrome à l'état de chromate; on a soin de les débarrasser de toute trace d'eau oxygénée par l'ébullition.

On peut ensuite y doser le chrome pondéralement en neutralisant exactement l'alcali par de l'acide nitrique, puis versant de l'azotate mercurieux, agitant et laissant reposer. Le chromate mercurieux précipité est reçu sur un filtre exempt de cendres, bien lavé, puis séché, séparé du filtre, qu'on brûle dans un petit creuset taré, introduit lui-même dans ce creuset et calciné progressivement sous une hotte. Le produit de la calcination est le sesquioxyde de chrome, Cr^2O^3 .

On peut également faire un dosage volumétrique de l'acide chromique, soit par l'eau oxygénée titrée, après avoir acidifié à froid la solution par l'acide chlorhydrique ou sulfurique, (mais il convient de n'appliquer ce procédé que s'il y a moins de 0^{gr},10 de chrome dans la solution), soit par le sel de Mohr et le permanganate de potasse.

Dans ce but on neutralise l'alcali par de l'acide sulfurique et on acidifie assez fortement; puis on introduit une quantité connue de sel de Mohr, qui donne naissance à des sulfates de sesquioxydes de fer et de chrome :



On verse ensuite, au moyen de la burette graduée, une dissolution titrée de permanganate jusqu'à apparition de la teinte rose. On détermine ainsi la quantité de sel ferreux non transformé; par différence, on a la quantité peroxydée par l'acide chromique, ce qui permet de calculer le chrome : 1 de fer métallique dans le sel ferreux correspond à 0,3107 de chrome dans l'acide chromique.

3° — Dosage de manganèse.

Le précipité formé par l'eau oxygénée et la potasse contient tout le manganèse, à l'état d'oxyde salin avec une quantité comparable de fer. On peut donc y faire le dosage de ce métal dans de bonnes conditions par l'une des méthodes précédemment exposées.

DOSAGE DU TUNGSTÈNE.

Le tungstène est introduit à dessein dans quelques fontes et surtout dans les aciers, pour leur donner une dureté exceptionnelle et un grain extrêmement fin. Les aciers au tungstène peuvent renfermer depuis 1 jusqu'à 9 p. 100 de cette matière; les alliages riches ou ferro-tungstènes, qui servent à la préparation des aciers au tungstène, peuvent en contenir jusqu'à 50 p. 100. La recherche et le dosage du tungstène se font de la manière suivante.

Première méthode.

On attaque par l'eau régale de 1 à 5 grammes d'acier, suivant sa teneur présumée, en copeaux aussi fins que possible dans une capsule de porcelaine; quand l'attaque est complète et qu'on n'aperçoit plus de grains inatta-

qués, on évapore à sec, on maintient pendant quelque temps entre 100 et 110 degrés, puis on redissout l'oxyde de fer et les autres oxydes par l'acide chlorhydrique, en chauffant à 100 degrés. On décante et lave avec de l'eau chlorhydrique.

Le résidu se compose d'acide tungstique, de silice, de graphite et souvent de petites parties de métal non attaquées. On le calcine pour brûler le graphite, puis on mélange dans un creuset de platine avec 5 parties de bisulfate de potasse et on fond au rouge, de manière à rendre l'attaque bien complète.

Après refroidissement, on traite la matière par l'eau froide d'abord, puis par l'eau bouillante, pour enlever les sels de fer et de potasse solubles (ainsi que l'acide titanique, si, par hasard, du titane se trouvait dans le métal avec le tungstène), et on reprend le résidu par le sulfhydrate d'ammoniaque, qui dissout tout le tungstène, en laissant la silice, devenue insoluble, ordinairement avec un peu de sulfure de fer.

La dissolution sulfhydratée est évaporée à sec; le résidu est légèrement calciné pour brûler le soufre, humecté d'acide azotique, séché de nouveau et calciné, puis pesé.

On calcule la teneur, pour 100, en tungstène, d'après le poids de l'acide tungstique WO^3 :

$$W = 79,31 \frac{p}{n}$$

Deuxième méthode.

On peut recommander aussi la méthode suivante, donnée par Blair (*The chemical analysis of iron*, p. 192) dans laquelle le tungstène se trouve isolé à l'état de tungstate mercurieux suivant les indications données par le D^r Gibbs (*American chemical Journal*, p. 373).

On attaque de 1 à 5 grammes, parfois même 10 grammes, par l'acide nitrique ($d = 1,20$); on évapore à sec dans l'étuve, on reprend par l'acide chlorhydrique; on ajoute un peu d'eau et on fait bouillir quelque temps pour obtenir le dépôt de l'acide tungstique sous la forme d'une poudre jaune. Après dilution, on filtre, on lave avec de l'eau chaude acidifiée par l'acide chlorhydrique, puis avec de l'eau alcoolisée.

On sèche, brûle le filtre et grille dans un petit creuset de platine, pour éliminer le carbone. On se débarrasse ensuite de la silice en humectant d'eau, puis ajoutant quelques gouttes d'acide sulfurique et un excès d'acide fluorhydrique, qu'on chasse par évaporation à siccité sous une hotte. Le résidu peut retenir, avec l'acide tungstique, un peu d'acide titanique, d'oxyde de fer, etc.

On le fond avec son poids de carbonate de soude et, après refroidissement, on traite par l'eau, on filtre et on lave bien le résidu insoluble avec de l'eau contenant un peu de carbonate de soude, de manière à faire passer tout le tungstate de soude dans la solution, tandis que les autres composés sont insolubles.

On neutralise presque complètement par l'acide nitrique et on chauffe pour chasser l'acide carbonique; on laisse refroidir, on achève de saturer l'alcali par l'acide nitrique en petit excès et, pour saturer complètement l'acide à son tour et favoriser la précipitation de l'acide tungstique, on verse dans la liqueur de l'eau, où l'on a mélangé de l'oxyde mercurique et de l'azotate mercurieux. Lorsque l'acide libre est entièrement neutralisé, il y a précipitation complète du tungstène sous la forme de tungstate mercurieux, qu'on laisse déposer et qu'on reçoit ensuite sur un filtre exempt de cendres.

On lave bien à l'eau chaude pour ne laisser aucune trace de sel alcalin, on sèche, on sépare le filtre qu'on brûle dans un creuset de platine, on y ajoute le précipité

et on chauffe doucement sous une hotte à bon tirage; on pousse peu à peu jusqu'au rouge clair, en ayant soin d'incliner le creuset découvert, afin d'éviter tout gaz réducteur. Le mercure est entièrement volatilisé, et il ne reste que l'acide tungstique, qu'on pèse après refroidissement :

$$W = 79,31 \frac{p}{n}$$

DOSAGE DU MOLYBDÈNE.

Le molybdène n'a pas été jusqu'ici employé dans la métallurgie de l'acier; mais les travaux tout récents de M. Moissan donneront lieu, sans doute, à des essais et à des applications industrielles. Il est donc utile de prévoir le cas où l'on aurait à chercher de petites quantités de molybdène dans les aciers. On pourra employer la méthode suivante.

On attaque 5 ou 10 grammes d'acier par l'acide chlorhydrique; s'il y a un résidu insoluble, on le reprend, après décantation de la liqueur, par quelques gouttes d'acide azotique et un peu d'acide chlorhydrique, on chauffe, on réunit les liqueurs et on évapore à siccité dans la capsule de porcelaine; on reprend par l'acide chlorhydrique et on filtre pour séparer la silice et, s'il y a lieu, l'acide titanique insolubles.

Les sels de fer n'ont été que très partiellement peroxydés; on les réduit, ainsi que les composés du molybdène et de l'arsenic par l'acide sulfureux, que l'on chasse ensuite par la chaleur. Après refroidissement, on fait arriver un courant d'hydrogène sulfuré; on le laisse agir quelque temps, puis on chauffe doucement; on recommence une seconde fois pour être sûr de précipiter tout le molybdène. Il peut être accompagné, dans le cas de certains aciers, d'un peu de cuivre et d'arsenic.

Le précipité de sulfure est reçu sur un filtre, lavé, séché, séparé avec soin, mêlé avec un peu de soufre dans un creuset de Rose et chauffé au rouge faible dans un courant d'hydrogène. Le sulfure d'arsenic est volatilisé avec l'excès de soufre. On pèse ensemble les deux autres sulfures ramenés à un état défini : MoS^2 et Cu^2S . On peut évaluer rapidement le cuivre, s'il y en a, par un procédé colorimétrique en traitant les sulfures par l'acide azotique, puis ajoutant de l'ammoniaque en excès et de l'eau jusqu'à un volume déterminé; on apprécie alors la proportion de cuivre d'après l'intensité de la teinte bleue, comparée à des types connus. On calcule le sulfure de cuivre et, par différence, le sulfure de molybdène.

On peut aussi, après avoir précipité les trois sulfures de molybdène, de cuivre et d'arsenic et les avoir reçus sur un filtre, enlever celui d'arsenic par une dissolution d'ammoniaque, puis traiter par le sulfure de sodium, qui laisse le sulfure de cuivre insoluble et facile à doser et ne dissout que le sulfure de molybdène.

La solution est décomposée par l'acide chlorhydrique; le précipité est recueilli sur un filtre, lavé, séché, puis séparé du filtre et calciné au rouge faible dans un courant d'hydrogène. On pèse le sulfure MoS^2 et on calcule en centièmes :

$$\text{Mo} = 60 \frac{2}{n}$$

DOSAGE DU TITANE.

Le titane se rencontre dans quelques fontes, notamment des fontes grises; il existe aussi, mais en quantité toujours très faible, dans un petit nombre de fers marchands. Peut-être arrivera-t-on à l'introduire utilement

dans la composition de certaines variétés d'aciers; mais, jusqu'ici, on ne peut guère le considérer que comme un élément accidentel, dont l'influence sur les qualités du métal est presque nulle, parce qu'il n'y est ordinairement qu'en proportion minime. Il faut opérer sur 5 ou 10 grammes pour pouvoir le doser. Il mérite cependant d'attirer l'attention, parce qu'il introduit des difficultés dans le dosage d'autres éléments, notamment du phosphore.

Il y a lieu de distinguer deux cas, suivant que le métal contenant du titane est ou n'est pas exempt de phosphore et d'arsenic.

I. — Titane seul.

La prise d'essai de 5 ou 10 grammes de métal, en copeaux ou en grains, est attaquée par 40 ou 80 centimètres cubes d'acide azotique ($d = 1,20$) dans une grande capsule de porcelaine entourée d'eau froide et recouverte d'un entonnoir renversé. On chauffe pour compléter l'attaque, on évapore à sec, en ajoutant vers la fin 5 grammes environ d'azotate d'ammoniaque, puis on calcine modérément, afin de décomposer l'azotate de fer et de brûler, au moins en partie, le carbone. On redissout le résidu en chauffant avec 30 ou 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et on étend d'eau; puis on décante sur un petit filtre qu'on lave à l'eau acidulée.

Lorsque le métal à analyser est exempt de phosphore, le résidu ne contient guère que la silice et l'acide titanique, avec quelque peu d'oxyde de fer et peut-être du graphite. On peut isoler l'acide titanique et la silice, comme je l'ai indiqué plus haut (page 416), en fondant le résidu avec trois fois son poids de carbonate de soude et un peu de nitre dans un petit creuset de platine, reprenant par l'eau et l'acide azotique, faisant passer dans

une capsule de porcelaine et évaporant à sec avec de l'acide chlorhydrique, redissolvant par ce même acide pour enlever le fer et laisser la silice et l'acide titanique seuls. Après lavage à l'eau acidulée, on sèche, calcine et pèse.

On redissout l'acide titanique seul par quelques centimètres cubes d'acide sulfurique concentré, en chauffant progressivement jusqu'à production de vapeurs blanches; puis on laisse refroidir et on verse peu à peu le liquide dans de l'eau froide en assez grande quantité (200 ou 300 centimètres cubes) pour qu'elle s'échauffe très peu. On filtre pour retenir la silice; on précipite l'acide titanique par ébullition avec un excès d'ammoniaque, puis on reçoit les flocons blancs sur un filtre, on sèche, calcine et pèse (*p*). On calcule la proportion de titane, en centièmes, par la formule :

$$Ti = 60,97 \frac{p}{n}.$$

Le silicium se calcule de même, d'après le poids de la silice, résultant de la différence des pesées.

Pour être plus sûr d'éviter toute trace d'oxyde de fer dans l'acide titanique, on peut, après dissolution par l'acide sulfurique et ensuite par l'eau froide, mêler avec 50 centimètres cubes d'une solution concentrée d'acide sulfureux et, lorsque le liquide est complètement décoloré, ajouter 20 grammes d'acétate de soude et porter à l'ébullition. L'acide titanique se dépose à l'état de flocons blancs qu'on sèche et calcine.

On peut aussi pour abrégé, en l'absence d'oxyde de fer, après avoir pesé ensemble l'acide titanique et la silice, faire disparaître celle-ci par l'emploi de l'acide fluorhydrique et de l'acide sulfurique répété deux fois et suivi d'une calcination.

II. — Titane, phosphore, arsenic.

La présence simultanée du titane, du phosphore et parfois de l'arsenic donne lieu à des difficultés spéciales d'analyse, parce que la dissolution des métaux par l'acide chlorhydrique laisse insoluble un composé renfermant de l'acide titanique, de l'acide phosphorique et de l'oxyde de fer, et parce qu'après attaque de ce résidu par l'acide sulfurique, les deux acides ne peuvent être séparés ni par l'addition d'ammoniaque, ni par simple ébullition : l'acide phosphorique accompagne l'acide titanique dans le premier cas et s'oppose à sa précipitation totale dans le second. Il faut alors des opérations multiples pour arriver à isoler et à doser les divers éléments.

L'attaque se fait, comme dans le premier cas, sur 5 ou 10 grammes, par l'acide azotique, et, après évaporation à sec et calcination modérée pour décomposer l'azotate de fer, par l'acide chlorhydrique. On évapore à sec et on reprend par le même acide, laissant un résidu insoluble de graphite, silice, acide titanique avec acide phosphorique, acide arsénique et oxyde de fer.

Ce résidu est séché, calciné, de manière à brûler le carbone, puis, dans un petit creuset de platine, humecté d'une solution d'acide fluorhydrique et de quelques gouttes d'acide sulfurique. On évapore à sec jusqu'à disparition des vapeurs blanches de fluorure de silicium et d'acide sulfurique; on ajoute 2 à 3 grammes de carbonate et quelque peu de nitrate de soude et on porte à fusion; on reprend ensuite par l'eau chaude, qui dissout le phosphate et l'arséniate de soude et laisse insoluble le titanate de soude avec l'oxyde de fer.

Le résidu, recueilli sur un petit filtre, est séché, calciné, puis mêlé avec quinze ou vingt fois son poids de bisulfate de potasse. On chauffe très doucement d'abord, puis peu

à peu au rouge sombre, et on entretient cette température pendant quelques heures, jusqu'à ce que le contenu du creuset soit devenu bien limpide. On laisse refroidir dans le creuset incliné et on dissout ensuite la matière dans 50 centimètres cubes d'une solution concentrée d'acide sulfureux. On lave bien à l'eau froide et on filtre. Ajoutant alors au liquide 1/6 environ de son volume d'acide acétique ($d = 1,04$) et 20 grammes d'acétate de soude, puis portant à l'ébullition, on détermine la précipitation de l'acide titanique, sous forme de flocons blancs, bien exempts de fer. On laisse déposer, on filtre et lave à l'eau chaude légèrement aiguisée d'acide acétique; on sèche, calcine et pèse l'acide titanique TiO_2 , qui contient 0,6097 de son poids de titane.

La portion que l'eau a dissoute, après fusion avec le carbonate de soude, est acidifiée par l'acide chlorhydrique, additionnée de quelques gouttes de bisulfite d'ammoniaque et chauffée jusqu'à disparition de l'odeur sulfureuse.

Dans le cas seulement, où il y aurait de l'arsenic, on le précipiterait par un courant d'hydrogène sulfuré et on le doserait par l'une des méthodes qui ont été exposées plus haut; puis on chasserait complètement l'hydrogène sulfuré soit par la chaleur, soit par un courant d'acide carbonique.

La solution ferreuse qui renferme l'acide phosphorique, reçoit une solution de perchlorure de fer plus que suffisante pour former du phosphate ferrique neutre; on sature alors par l'ammoniaque jusqu'à production d'un précipité ocreux; on acidifie légèrement par l'acide acétique, on fait bouillir, on filtre et on lave à l'eau chaude.

Le précipité, formé de phosphate et d'acétate basique de fer, peut être alors traité de manière à doser l'acide phosphorique, soit à l'état de pyrophosphate de magnésie, soit à l'état de phosphomolybdate d'ammoniaque.

Dans le premier cas, il faut dissoudre sur le filtre par l'acide chlorhydrique, évaporer jusqu'à un très faible volume, puis ajouter de l'acide citrique, de la mixture magnésienne et de l'ammoniaque en excès.

Dans le second, la dissolution doit se faire par l'acide azotique; on évapore et on précipite l'acide phosphorique au moyen du molybdate d'ammoniaque, on chauffe vers 40 degrés centigrades pendant 3 ou 4 heures.

On a donc successivement obtenu le dosage complet du titane, et le dosage de l'arsenic et du phosphore contenus dans le résidu laissé insoluble par l'acide chlorhydrique.

Il faut encore vérifier, par les procédés ordinaires, si, en dehors de ce résidu, la liqueur chlorhydrique de fer ne renferme plus d'arsenic et de phosphore.

RECHERCHE DU VANADIUM.

On trouve quelquefois des traces de vanadium dans les fontes; il passe dans les scories, lorsque les fontes sont transformées en acier par le procédé basique. C'est également par fusion avec les réactifs basiques, qu'on le sépare du fer dans les laboratoires.

On attaque 10 ou 15 grammes de la fonte à examiner par l'acide azotique dans une capsule de porcelaine; puis on ajoute de l'eau et l'on sature par le carbonate de soude, dont on met encore 10 à 15 grammes en excès. On évapore à sec, on détache de la capsule et on introduit dans un creuset d'argent, où l'on a fondu d'avance quelques grammes de potasse; on chauffe de manière à fondre le tout pendant 10 minutes. Après refroidissement, on reprend avec de l'eau rendue alcaline par un peu de potasse et on lave bien le résidu. L'oxyde de fer reste

insoluble, tandis qu'il y a dissolution de manganate alcalin, de vanadate, peut-être de chromate, etc.

Une coloration verte de la liqueur indiquerait la présence du manganèse et masquerait certainement la teinte jaune donnée par le chrome; mais on peut aisément reconnaître celui-ci, en prenant une partie aliquote de la liqueur (1/10 ou 1/15, par exemple), acidifiant légèrement par l'acide chlorhydrique et chauffant avec un morceau de papier filtre, pour réduire le permanganate et décolorer le liquide; si l'on ajoute, après refroidissement, quelques centimètres cubes d'eau oxygénée, ils produisent avec l'acide chromique une coloration bleue assez fugitive, mais très sensible.

Pour constater la présence du vanadate dans la liqueur alcaline, on acidifie légèrement par l'acide chlorhydrique, puis on verse un excès d'ammoniaque et l'on fait arriver un courant d'hydrogène sulfuré jusqu'à saturation. Il se fait à froid un précipité, qui se complète à l'ébullition; il comprend le manganèse à l'état de sulfure et le chrome à l'état d'oxyde. On peut l'utiliser pour le dosage de celui-ci. S'il y a du vanadium, on en est averti par la coloration rouge que prend la liqueur par suite de la formation du sulfovanadate, doué d'un grand pouvoir colorant. Ce caractère est très sensible pour accuser la présence du vanadium.

Si l'intensité de la coloration indique une quantité notable de cet élément, on peut chercher à le doser, en versant avec précaution de l'acide acétique étendu dans la liqueur froide jusqu'à saturation et formation d'un trouble brunâtre; on laisse déposer pendant vingt-quatre heures dans une fiole bouchée, puis on décante le liquide sur un filtre; on y reçoit le précipité brun de sulfure de vanadium, mêlé de soufre, on lave peu de temps à l'eau sulfurée et très faiblement acétique, pour enlever les sels alcalins; enfin, on sèche, on brûle le filtre et on porte au

rouge faible, pour transformer en acide vanadique, qui sert à calculer la teneur en vanadium :

$$\text{Va} = 56,14 \frac{p}{n}$$

DOSAGE DE L'ALUMINIUM.

L'aluminium ne paraît pas exister en proportion sensible dans les fontes ordinaires; mais il s'en trouve quelque peu dans les aciers fondus à très haute température. Depuis peu d'années, on a reconnu que l'introduction de très faibles proportions d'aluminium, sous la forme d'aluminium presque pur ou sous celle de ferro-aluminium, dans les fontes ou les aciers leur donne des qualités spéciales et permet notamment d'obtenir de bons moulages sans soufflures. Il ne reste, d'ailleurs, du métal ajouté que des quantités le plus souvent minimales.

On peut donc avoir à rechercher, soit de très petites quantités d'aluminium dans les fontes et les aciers, soit des proportions importantes du même métal dans les alliages préparés pour la métallurgie sous le nom de ferro-aluminium.

I. — Alliages riches en aluminium.

Nous ne pensons pas devoir décrire ici l'analyse complète de ces alliages.

En ce qui concerne le dosage spécial de l'aluminium, il nous suffira de dire que l'on peut y employer les différentes méthodes connues pour la séparation de l'aluminium et du fer, et de rappeler d'un mot celles qui conviennent le mieux :

1° Attaque par l'acide azotique, évaporation, calcination, puis volatilisation du chlorure de fer par l'acide

chlorhydrique gazeux, l'alumine demeurant fixe dans la nacelle (H. Sainte-Claire Deville);

2° Attaque par l'acide azotique ou l'eau régale, précipitation de l'oxyde de fer par la potasse pure en excès, dans laquelle l'alumine reste dissoute, enfin précipitation ultérieure de l'alumine (H. Rose);

3° Dissolution dans l'eau régale, neutralisation incomplète, réduction du sel de fer par l'hyposulfite de soude et précipitation de l'alumine par ébullition (Chancel).

II. — Fontes ou aciers renfermant de très faibles proportions d'aluminium.

A. — Précipitation du phosphate d'alumine après réduction du sel de fer.

On prend 5 ou 10 grammes de métal, qu'on attaque par l'acide chlorhydrique dans une capsule de platine recouverte d'une feuille de platine; on évite l'emploi du verre ou de la porcelaine, pour ne pas risquer d'introduire dans le liquide de l'alumine provenant des vases.

Lorsque le métal est entièrement dissous, sans laisser la solution se peroxyder à l'air, on y ajoute de l'eau distillée et on fait passer le liquide dans une fiole, en retenant sur un filtre les parties insolubles, graphite, silice (en partie), etc.

On neutralise la plus grande partie de l'acide libre par l'ammoniaque d'abord, puis par le carbonate de soude, mais sans atteindre le point où le liquide se troublerait; on ajoute un peu d'hyposulfite de soude; puis, lorsque la coloration violette de la liqueur a disparu, ce qui indique la réduction complète du sel ferrique, on y verse 2 ou 3 centimètres cubes d'une solution saturée de phosphate

de soude et 20 centimètres cubes d'une solution d'acétate de soude (5 à 6 grammes); on chauffe alors jusqu'à l'ébullition, qu'on entretient pendant trois quarts d'heure environ, aussi longtemps qu'on perçoit l'odeur d'acide sulfureux.

Il se fait un précipité, ordinairement peu volumineux, de phosphate d'alumine mêlé de soufre, contenant un peu de silice et de phosphate ferrique; ce précipité est reçu sur un filtre et lavé à l'eau bouillante, puis placé au-dessus d'une capsule de platine et traité à chaud par 10 ou 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique étendu.

La solution est évaporée à sec et le résidu maintenu à 100° pendant une heure, afin que la silice devienne complètement insoluble dans les acides. On reprend alors par un peu d'acide chlorhydrique étendu, en chauffant, pour redissoudre tout le phosphate d'alumine et celui de fer, on sépare sur un petit filtre les dernières parties de silice et on étend de 100 centimètres cubes d'eau froide. On renouvelle enfin sur cette solution, qui ne renferme plus que très peu de fer, la précipitation du phosphate d'alumine par la même méthode qu'au début: neutralisation incomplète, addition d'hyposulfite de soude et ensuite d'une solution de 2 grammes d'acétate et 2 grammes d'hyposulfite, ébullition d'une demi-heure et filtration sur un petit filtre en papier Schleicher. Le peu de fer qui était resté dans le premier précipité a été complètement éliminé, ainsi que la silice; le nouveau précipité, séché, calciné et pesé, est du phosphate neutre d'alumine $\text{Ph}^2\text{O}^5\text{Al}^2\text{O}^3$ ou AlPhO^4 , renfermant 22,45 p. 100 d'aluminium (Ad. Carnot, 1882).

NOTA. — Une méthode presque semblable a été donnée, en 1890, par Pattinson et Stead, sans qu'ils eussent connaissance de notre travail plus ancien. (*Moniteur scientifique*, novembre 1890 et janvier 1891.)

B. — *Dosage de l'alumine après séparation du fer par l'électrolyse.*

Thomas Drown et Alex. Mc. Kenna ont proposé (1891) d'appliquer à la recherche de l'aluminium dans les aciers le procédé électrolytique du docteur Walcott Gibbs (1883), consistant à séparer le fer par réduction et précipitation sur une cathode de mercure et à doser ensuite l'alumine à l'état de phosphate. Ils conseillent d'opérer de la façon suivante :

5 ou 10 grammes d'acier sont attaqués par l'acide sulfurique; on évapore jusqu'à apparition de fumées blanches, on ajoute de l'eau et on chauffe jusqu'à redissolution complète des sulfates, on filtre pour séparer la silice et le carbone, on sature autant que possible par l'ammoniaque et on fait passer le liquide, dont le volume peut être de 300 à 500 centimètres cubes, dans un vase à électrolyse, où l'on a versé un poids de mercure égal à 100 fois celui du métal traité. Le mercure doit former la cathode, tandis que l'anode est une grande lame de platine; on se sert d'un courant de 2 ampères, donnant 20 centimètres cubes de gaz par minute.

Le fer se dépose sur la cathode et s'unit au mercure. Le manganèse se partage, une moitié environ s'unissant au mercure, tandis que l'autre se dépose à l'état de bioxyde sur l'anode; le phosphore passe entièrement dans la dissolution. Il faut, de temps en temps, saturer par l'ammoniaque l'acide mis en liberté par suite de la décomposition du sel de fer. Au bout de 10 ou 15 heures, quand tout le fer est précipité, on enlève la solution à l'aide d'une pipette, sans interrompre le courant, on ajoute de l'eau et on recommence ainsi, jusqu'à ce que le liquide ne soit presque plus acide et ne risque pas de

dissoudre du fer. L'anode est alors enlevée et on lave le mercure.

Les eaux mères et les eaux de lavage sont filtrées pour séparer le bioxyde de manganèse, qui pourrait se trouver en suspension. On ajoute un excès de phosphate de soude et 10 grammes d'acétate, on neutralise presque par l'ammoniaque et on porte à l'ébullition pendant 40 à 45 minutes. Le phosphate d'alumine précipité est alors lavé, calciné et pesé. Il doit être blanc après calcination. S'il arrivait qu'il fût coloré par du fer, il faudrait l'attaquer par du bisulfate de potasse, dissoudre dans l'eau et soumettre de nouveau à l'électrolyse pendant deux ou trois heures.

Les auteurs admettent que le précipité répond à la formule : $7Al^2O^3, 6Ph^2O^5$, correspondant à 24,14 p. 100 d'aluminium (*Chemical News*, 16 octobre 1891). Mais cette formule est en désaccord avec les résultats trouvés par différents chimistes et récemment encore par C. Glaser (*Moniteur scientifique*, juin 1893).

NOTA. — Les deux méthodes que nous venons de décrire ont, comme toutes celles où le métal sera dissous par un acide, l'inconvénient de ne pouvoir fournir qu'un dosage brut de l'alumine et de ne pas montrer avec certitude, si cette alumine correspond à de l'aluminium métallique allié au fer ou à du silicate (laitier ou scorie) inclus dans le métal. Leurs indications peuvent être heureusement complétées par l'emploi du chlore par voie sèche, qui va être décrit un peu plus loin.

RECHERCHE SIMULTANÉE DE L'ALUMINIUM, DU CALCIUM
ET DU MAGNÉSIUM.

On peut déterminer avec quelque précision la proportion totale des métaux terreux et alcalino-terreux dans la fonte par une méthode de voie sèche, qui permet d'éviter

les erreurs dues à l'attaque des vases, mais qui ne fournit, pas plus que les deux méthodes précédentes pour l'aluminium, le moyen de savoir si les métaux étaient alliés au fer ou entraient dans la composition du laitier ou de la scorie. Cette méthode est imitée de celle, bien connue, de Deville et de Boussingault pour isoler l'alumine et la silice.

L'opération débute, comme celle où l'on cherche à doser le silicium (I, A, p. 411) par l'oxydation lente et complète du métal (6^{es}) dans le moufle, puis la volatilisation du chlorure de fer dans le tube de platine ou de porcelaine sous l'action d'un courant d'acide chlorhydrique gazeux. Le grillage doit faire disparaître tout le carbone et oxyder, avec le fer et les autres métaux, tout le silicium et les autres métalloïdes. Le courant d'acide chlorhydrique, en formant du chlorure de fer qui distille au rouge sombre, laisse intactes la silice et l'alumine (avec une partie de l'acide titanique, s'il y avait du titane dans la fonte); il se forme des chlorures assez fixes de calcium et de magnésium; il reste souvent aussi du chlorure de manganèse et du phosphate ferrique, lorsque l'on opère sur des fontes phosphoreuses. On termine au rouge cerise.

On traite le résidu trouvé dans les nacelles de platine par un peu d'acide azotique, on évapore à sec, on chasse l'acide chlorhydrique, on reprend par l'acide azotique étendu avec un peu d'eau oxygénée, afin de dissoudre les chlorures de calcium, de magnésium, de manganèse et le phosphate de fer. On précipite ces deux derniers par ébullition avec un peu d'ammoniaque et, dans la liqueur restante, on dose la chaux par l'oxalate d'ammoniaque et la magnésie par le phosphate de soude.

Le résidu insoluble dans l'acide azotique est traité par calcination avec du bisulfate d'ammoniaque et repris par l'eau, qui laisse insoluble la silice seule; on peut donc

doser ici la silice totale, provenant du silicium et du silicate.

La solution sulfurique peut contenir de l'alumine et peut-être de l'acide titanique avec de l'oxyde de fer; on la soumet à une ébullition prolongée qui détermine la séparation et le dépôt de l'acide titanique.

Puis on précipite l'alumine par l'ammoniaque en très léger excès à l'ébullition; si elle est colorée par l'oxyde de fer, on la redissout dans quelques gouttes d'acide chlorhydrique et, après évaporation, on la sépare du fer par un courant d'acide chlorhydrique gazeux (*).

(*) En corrigeant les épreuves de ce travail, j'apprends et je m'empresse de signaler qu'Alexandre Pourcel a autrefois indiqué une méthode analogue pour la *recherche des métaux terreux et alcalins dans les aciers* (*Comptes rendus mensuels des réunions de la Société de l'Industrie minière*, Saint-Etienne, août 1877, p. 16).

A côté de l'analyse pondérale, Pourcel recommande l'emploi de l'*analyse spectrale*, à cause de la faible proportion des corps à rechercher.

On prend, sur la boucle d'un fil de platine, une quantité suffisante du résidu non volatil et on chauffe à plusieurs reprises dans la flamme d'un bec Bunsen avec du fluorhydrate d'ammoniaque. Puis on humecte avec une goutte d'acide chlorhydrique et on porte aussi près que possible de la fente du spectroscope et sur le bord de la flamme, de manière à éviter une volatilisation trop rapide; on verra les raies des métaux dans l'ordre de leur volatilité.

On bien, on traite le résidu par l'acide chlorhydrique pris toujours en égale quantité, de manière à avoir une liqueur de chlorures très concentrée, et on porte cette liqueur dans la flamme du gaz, en comparant le spectre à ceux des chlorures dessinés dans l'ouvrage de Lecoq de Boisbaudran.

Si l'on a recueilli dans l'eau les vapeurs chlorhydriques avec chlorures de fer, de manganèse... et de métaux alcalins, on pourra constater au spectroscope les raies de ces métaux et notamment reconnaître, s'il s'y trouve du potassium et du lithium.

DOSAGE DU LAITIER OU DE LA SCORIE ET DES MÉTAUX TERREUX ET ALCALINO-TERREUX (CALCIUM, MAGNÉSIUM, ALUMINIUM).

A. — Méthode de voie sèche.

Il existe souvent un peu de laitier dans les fontes et de scorie dans les fers puddlés; on trouve aussi parfois des inclusions de scories dans les aciers fabriqués soit par le procédé acide, soit par le procédé basique. Pour le doser, la meilleure méthode nous paraît être celle qui consiste à chauffer le métal dans un courant de chlore sec, de manière à volatiliser les métalloïdes avec le fer et les autres métaux formant des chlorures volatils et à isoler les silicates et les oxydes.

On place le métal en petits fragments (5 grammes) dans une nacelle en porcelaine, qu'on introduit dans un tube de verre résistant; ce tube peut être traversé par un courant de gaz et chauffé au rouge sombre sur une grille à gaz; il s'ouvre dans un second tube de plus grand diamètre et d'assez grande longueur, communiquant avec un premier ballon renfermant de l'eau et un second ballon rempli de chaux éteinte.

On chasse d'abord entièrement l'humidité et l'air atmosphérique par un courant d'acide carbonique sec, puis on fait arriver un courant de chlore, qui a été entièrement privé d'acide chlorhydrique et d'humidité en passant sur du bioxyde de manganèse et de l'acide sulfurique concentré. En chauffant doucement le tube, on détermine la volatilisation des chlorures de fer, d'aluminium, de silicium, de phosphore, d'arsenic, de soufre, de titane...; quelques-uns d'entre eux, notamment ceux de fer et

d'aluminium, se condensent dans le tube froid; d'autres sont entraînés dans le premier ballon et se décomposent au contact de l'eau; le chlore en excès est absorbé par la chaux hydratée.

Lorsque la volatilisation paraît être entièrement terminée, on laisse refroidir, on arrête le courant de chlore et on retire la nacelle pour analyser le résidu.

Celui-ci est repris par un peu d'eau, qui dissout les chlorures de calcium et de magnésium, avec plus ou moins de chlorure de manganèse. On sépare le manganèse par un peu d'eau oxygénée ou de brome, de sel ammoniac et d'ammoniaque, puis on dose la chaux et la magnésie par l'oxalate d'ammoniaque et le phosphate de soude.

La partie insoluble du résidu, contenant le carbone et le silicate inattaqué, peut être pesée une première fois après dessiccation, puis, de nouveau, après calcination dans un courant d'oxygène, qui fait disparaître tout le carbone. La différence des deux pesées donne un chiffre approximatif pour le *carbone total*, si l'on admet, d'après les expériences de Zaboudsky, que la proportion de carbone dans le composé de C, O et H, après dessiccation, est comprise entre 66 et 67 p. 100 lorsqu'il provient de l'acier, 71 et 72 p. 100 s'il est extrait de la fonte.

Le résidu de la calcination est analysé comme le serait un laitier ou une scorie ordinaire; on y dose spécialement la silice, la chaux, la magnésie et l'alumine.

R. Frésenius, qui s'est servi, dès 1865, de ce mode d'attaque par le chlore sec, dans le but de rechercher si la fonte contenait du calcium et du magnésium à l'état métallique (*Zeitschrift für analytische Chemie*, 1865), a fait très justement observer que la silice du laitier demeure absolument intacte dans le résidu, tandis que la chaux et la magnésie peuvent être partiellement transformées en chlorures qui seront dissous par l'eau.

Il peut donc se trouver dans la solution aqueuse un peu plus de calcium et de magnésium qu'il n'y en avait à l'état d'alliage avec le fer métallique, le surplus ayant été emprunté au laitier; mais, si l'on a à sa disposition un fragment de laitier de la même coulée, on pourra, en en faisant l'analyse et la comparant à celle du silicate resté inattaqué par le chlore et par l'eau, calculer, d'après la proportion de silice, les quantités de chaux et de magnésie qui ont été enlevées au silicate et les retrancher de celles qui ont été dosées dans la solution aqueuse. Il est donc possible de déterminer ainsi : d'une part, le poids du *laitier* (ou de la *scorie*) qui se trouve à l'état d'inclusion dans le métal; d'autre part, la petite proportion des *métaux alcalino-terreux*, qui sont alliés avec le fer à l'état métallique (Frésenius).

On profitera de l'analyse du silicate, resté inattaqué par la chloruration, pour déterminer l'aluminium qu'il contient et, par comparaison avec le dosage de l'aluminium total effectué par l'une des méthodes précédentes, la proportion réelle, dans l'acier, de l'*aluminium* métallique que ces méthodes n'avaient pas fait connaître (voir la note de la p. 513).

B. — Méthode de voie humide pour le dosage de la scorie et de l'oxyde de fer.

On a proposé, pour le dosage de la scorie, contenue dans la fonte ou l'acier, différentes méthodes de voie humide, fondées sur l'emploi : 1° d'un courant électrique en présence d'acide chlorhydrique très étendu (Lipper); 2° de l'iode en présence de l'eau (Eggertz) ou du brome dans des conditions analogues (Werth). Ces méthodes sont moins sûres et pour le moins aussi difficiles à pratiquer que la chloruration par voie sèche, à laquelle nous réservons la préférence. De plus, elles ne donnent pas

le moyen de rechercher les métaux terreux et alcalino-terreux. Nous ne croyons donc pas devoir les exposer en détail.

On peut les réduire à leur plus grande simplicité, si l'on a seulement en vue un dosage approximatif de l'oxyde de fer, qui se rencontre parfois dans les aciers, notamment les aciers extra-doux, et qui les fait alors désigner sous le nom d'*aciers brûlés*.

Werth a pu constater que ces aciers renferment de petits grains d'oxyde magnétique Fe^3O^4 , disséminés dans le métal, et qu'une proportion de 0,25 p. 100 de cet oxyde rend l'acier parfaitement insoudable, malgré une grande douceur.

Si l'on se propose seulement de constater la présence de l'oxyde magnétique et d'en évaluer la proportion d'une manière approchée, nous conseillons d'opérer de la manière suivante :

Prendre 20 grammes de l'acier à examiner, en petits fragments; les répartir également entre quatre ballons de 150 centimètres cubes de capacité, à fond arrondi, qu'on remplit presque entièrement d'eau distillée, récemment bouillie et refroidie; on les fixe au moyen de supports dans une cuve remplie d'eau froide, constamment renouvelée; on verse dans chaque ballon du brome, de manière à recouvrir complètement le métal, et on laisse l'attaque s'opérer lentement, sans que le métal soit en contact direct avec l'eau.

Lorsque le métal paraît entièrement dissous, c'est-à-dire en général au bout de deux jours, on décante les dissolutions aqueuses et on réunit le brome et les résidus insolubles dans une seule capsule de porcelaine. On fait passer le brome dans un flacon bouché à l'émeri, et on lave le résidu à l'eau froide, — le tout en évitant autant que possible de respirer les vapeurs fatigantes du brome.

On chauffe le résidu avec une solution de potasse pour dissoudre la silice, la leucone, etc. Il ne reste alors que l'oxyde de fer, la scorie inattaquée et le composé bromuré et hydraté de carbone, qui est, en général, facile à brûler, grâce à sa grande division. La combustion s'obtient à une température qui ne modifie pas l'état de l'oxyde de fer.

On pèse après cette calcination modérée; on enlève l'oxyde magnétique de fer au moyen d'un aimant, et l'on pèse de nouveau. Ces deux pesées font connaître, avec une approximation suffisante, en général, la proportion de l'oxyde de fer et la proportion de scorie sur 20 grammes d'acier.

DOSAGE DU FER.

Lorsqu'on fait l'analyse complète d'une fonte, d'un acier ou d'un fer, il est fort utile de doser le fer, non par différence, mais par une opération spéciale, qui fournit ainsi un moyen de contrôle précieux de l'ensemble des dosages effectués sur les différents éléments. Le dosage du fer peut être fait, soit pondéralement par l'électrolyse, soit par les procédés volumétriques.

I. — Par l'électrolyse.

La méthode donnée par Alex. Classen fournit de fort bons résultats.

On prend pour électrode négative une capsule de platine d'environ 0^m,09 de diamètre, portée par trois petites pointes de platine disposées sur un anneau conducteur, tandis que l'électrode positive est constituée par un disque de platine d'environ 4^{cm},5 de diamètre, au milieu duquel est fixée une tige de platine, ou par

un gros fil de platine enroulé en spirale dans un plan horizontal. Le courant est fourni par deux ou trois éléments de Bunsen ou par une pile thermo-électrique de Clamond chauffée modérément et capable de dégager jusqu'à 20 centimètres cubes de gaz tonnant par minute.

On prépare la solution en attaquant 0^{gr},20 ou 0^{gr},50 des copeaux métalliques par l'acide chlorhydrique et séparant la silice, comme d'ordinaire, par évaporation lente, au bain de sable ou au bain-marie, dessiccation à 100°, reprise par l'acide et filtration. Le liquide reçu dans la capsule de platine est concentré au bain-marie, puis évaporé avec de l'acide sulfurique pur, de manière à chasser l'acide chlorhydrique. On ajoute alors un peu d'eau et de l'ammoniaque, qui contribue à rendre la liqueur assez conductrice.

On verse dans la capsule de 1 à 2 centimètres cubes d'une solution concentrée d'oxalate de potasse (à 33 p. 100), c'est-à-dire moins qu'il n'en faudrait pour former un oxalate double ferroso-potassique avec les 0^{gr},20 ou 0^{gr},50 de fer mis en expérience. On étend à 25 centimètres cubes, on chauffe et on ajoute 3 à 4 grammes d'oxalate d'ammoniaque, qui doivent se dissoudre à chaud, sans produire de précipité.

On ajoute encore de l'eau, jusqu'à avoir 150 à 200 centimètres cubes de liquide, et on soumet à l'électrolyse avec l'aide de la chaleur, en employant un courant capable de dégager 10 à 12 centimètres cubes de gaz tonnant; vers la fin, on renforce l'intensité du courant jusqu'à 15 ou 20 centimètres cubes de gaz par minute.

Le sel ferrique qui existait au début est réduit en sel ferreux et la solution d'abord verte passe au rouge; puis le fer se dépose sur le platine en formant une couche brillante, d'un gris d'acier, qui adhère fortement à la capsule. A la fin, le liquide devient incolore.

Après avoir continué quelque temps le courant, on

s'assure qu'il ne reste plus de fer dans le liquide, en puisant quelques gouttes de celui-ci au moyen d'un tube capillaire, les portant sur un verre de montre posé sur un papier blanc, acidifiant par une goutte d'acide chlorhydrique et mettant une goutte de ferricyanure de potassium. Il ne doit pas se faire de coloration bleue, comme il s'en produit avec les sels ferreux même très étendus.

La réduction étant complètement achevée, on retire l'anode du liquide, on décante, on lave la capsule à trois reprises avec 5 centimètres cubes d'eau froide et encore trois fois avec de l'alcool concentré. On sèche quelques minutes, dans une étuve à 80 ou 90°, et, après refroidissement, on pèse. La capsule étant tarée, l'augmentation de poids fait connaître la proportion de fer métallique. Le dépôt est bien adhérent à la capsule; il peut rester plusieurs jours exposé à l'air sans s'oxyder.

S'il y a du manganèse avec le fer, il se produit une coloration rouge d'acide permanganique autour de l'anode; puis, lorsqu'on renforce le courant par un troisième élément Bunsen, il se forme un dépôt noir de bioxyde de manganèse, qui, en partie nage dans la solution, en partie se dépose sur l'anode. Il ne gêne pas le dépôt du fer sur la cathode.

Si le métal contient du cuivre, du cobalt, du nickel, ces métaux se déposent avec le fer, à l'état métallique. Le poids trouvé représente donc le poids total des métaux autres que le manganèse.

Si l'on veut porter dans le tableau d'analyse le poids du fer métallique seul, il faudra retrancher, en outre du poids de ces métaux, déterminé par leurs dosages, celui du fer contenu dans l'oxyde et dans la scorie. Enfin, d'après les expériences de Juptner, le dépôt galvanique contient toujours un peu de carbone (environ 0,07 de son poids); il conviendrait donc encore de retrancher cette

quantité pour avoir la proportion exacte de fer à l'état métallique.

II. — Par les procédés volumétriques.

On arrive beaucoup plus rapidement par les procédés volumétriques et, si le dosage n'est pas tout à fait aussi précis que par l'électrolyse, il l'est cependant autant que les autres dosages dont il s'agit de contrôler l'ensemble. On peut donc dire que son exactitude est suffisante.

On peut recourir à divers procédés volumétriques; nous donnons la préférence, soit au procédé du permanganate de potasse, de Margueritte, pour une liqueur sulfurique, soit au procédé du protochlorure d'étain et du bichromate de potasse, de Kessler, combinaison des procédés de Penny et de Frésenius pour une solution chlorhydrique.

A. — Méthode du permanganate.

La solution devant contenir le fer à l'état de sulfate ferreux, on pourrait songer à dissoudre le métal directement dans l'acide sulfurique ou dans un mélange des acides sulfurique et chlorhydrique; mais le dosage serait altéré d'une manière plus ou moins grave par la présence du composé organique provenant du carbone uni au fer et par celle des autres composés incomplètement oxydés formés par le silicium, le phosphore, etc. Il est donc indispensable de peroxyder tous les éléments dissous; il ne suffit pas d'attaquer par l'acide azotique ou par l'eau régale; il faut, par un procédé d'oxydation très énergique, brûler entièrement le composé organique.

S'il y a peu de carbone, comme dans les fers et les aciers doux, on peut employer l'une des méthodes suivantes :

On dissout 1 gramme de métal par 20 centimètres cubes environ d'acide azotique ajouté peu à peu, en évitant toute projection; puis on évapore en mettant, à la fin, 1 à 2 grammes d'azotate d'ammoniaque et remuant avec une baguette de verre; on chauffe jusqu'à déflagration modérée pour brûler la matière organique, on redissout avec un peu d'acide chlorhydrique concentré et on chasse cet acide en évaporant avec 25 centimètres cubes d'acide sulfurique au sixième.

Ou bien : on attaque par l'acide chlorhydrique, qui a l'avantage d'éliminer l'arsenic, s'il y en a, en même temps qu'une partie du carbone, à l'état de composés hydrogénés gazeux, et on produit la peroxydation et la combustion du produit organique en chauffant avec un peu de chlorate de potasse, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'odeur de chlore. On achève en rendant la liqueur sulfurique.

Ou encore : on attaque par 25 centimètres cubes d'acide sulfurique au sixième, ce qui permet encore de chasser l'arsenic et une partie du carbone, puis on peroxyde le fer et on brûle la matière organique par de l'acide chromique ou du permanganate de potasse.

Si l'on fait l'essai sur de la fonte, il est bon, pour se débarrasser entièrement du carbone, de le brûler par une opération de voie sèche : on attaque 1 gramme par l'acide azotique; lorsque la dissolution est complète, on évapore à sec, on ajoute deux parties de carbonate de soude et une partie de nitre; on nettoie bien la capsule avec les réactifs alcalins et on fait passer le tout dans un creuset de platine, qu'on chauffe ensuite jusqu'à fusion. On reprend par l'eau chaude, on décante sur un filtre et, après un bon lavage, on redissout l'oxyde de fer sur le filtre par un peu d'acide chlorhydrique concentré, qu'on fait tomber sur le reste de l'oxyde dans la capsule de porcelaine; on chasse l'acide chlorhydrique par évaporation

avec 25 centimètres cubes d'acide sulfurique au sixième. On brûle encore le peu de matière organique venant du papier au moyen du permanganate de potasse.

Après avoir, par l'un de ces moyens, préparé la dissolution de sulfate ferrique et fait disparaître toute matière capable d'exercer une réduction sur le permanganate, on ajoute de l'eau distillée jusqu'à former un volume total de 500 centimètres cubes. On remue bien, pour rendre le liquide homogène, et on en prend, au moyen d'une pipette, pour une opération, exactement 200 centimètres cubes, correspondant à 0^{gr},400 de la prise d'essai.

On verse les 200 centimètres cubes dans un ballon, que l'on chauffe au-dessous de 100°; on y introduit un poids connu, soit 1 gramme, de zinc pur en limaille, qui se dissout rapidement en dégageant de l'hydrogène et ramenant le sulfate ferrique à l'état de sulfate ferreux. Ce sel en solution acide est peu sensible à l'action oxydante de l'air atmosphérique; néanmoins, il est plus sûr d'opérer à l'abri de l'air, en faisant passer dans le ballon un courant d'acide carbonique. Quand tout le zinc a disparu, le fer ayant été entièrement réduit à l'état de sel ferreux, on fait couler d'une burette graduée la solution de permanganate, préparée en dissolvant 6 grammes de sel cristallisé dans 1 litre d'eau, de façon que 0^{gr},400 de fer exigent de 45 à 50 centimètres cubes de la solution pour être peroxydés. On verse la liqueur d'abord assez vite, puis avec précaution, jusqu'à ce que la dernière goutte produise dans le liquide une coloration faible, qui persiste assez longtemps avec les liqueurs sulfuriques; on fait aussitôt la lecture. Pour éviter toute cause accidentelle d'erreur, on recommence le dosage sur 100 autres centimètres cubes de la solution ferrique et, si les résultats sont d'accord à une ou deux divisions près, on en prend la moyenne.

On doit presque toujours corriger un peu le résultat à

raison de la petite quantité de fer que renferme le zinc, même choisi comme pur. A cet effet on prend 10 centimètres cubes d'acide sulfurique au sixième, on ajoute de l'eau jusqu'à 100 centimètres cubes, on chauffe, on ajoute le même poids, un gramme, du même zinc et, après dissolution complète, on fait couler quelques gouttes de permanganate de la burette jusqu'à coloration rose et l'on fait la lecture; le nombre de divisions trouvées ici doit être retranché du nombre observé dans le dosage précédent.

Il faut, pour conclure exactement du volume de la liqueur titrée de permanganate au poids du fer correspondant, avoir fait un titrage bien précis de cette liqueur. On y arrive très bien au moyen d'un poids connu de fer pur, comme l'a enseigné Margueritte. On pèse exactement 1 gramme de fer chimiquement pur ou 1^{er},005 de fil de fer très doux, où l'analyse a révélé 5 millièmes de substances étrangères. On le jette dans un ballon jaugé de 500 centimètres cubes contenant 20 centimètres cubes environ d'acide sulfurique et 100 centimètres cubes d'eau récemment bouillie, après avoir chassé l'air du ballon par l'acide carbonique; on le ferme par un bouchon avec tube de dégagement et l'on chauffe jusqu'à dissolution complète du fer et ébullition; on achève de remplir à peu près jusqu'au trait avec de l'eau bouillie, on ferme bien et on laisse refroidir, puis on complète exactement les 500 centimètres cubes.

On prélève avec une pipette 100 centimètres cubes du liquide, renfermant 0^{er},200 de fer à l'état de sulfate ferreux, et l'on ajoute dans le même vase 100 centimètres cubes d'eau bouillie; puis on fait couler la même solution de permanganate jusqu'à production de la coloration rose faible et on fait la lecture.

On renouvelle l'essai sur un second volume égal de la solution ferreuse et l'on prend la moyenne. A moins d'erreur accidentelle, qui nécessiterait un troisième essai,

l'accord doit se produire à une division près, soit 1/10 de centimètre cube de la solution, c'est-à-dire que l'écart est au-dessous de 1 milligramme de fer.

La comparaison des volumes de permanganate employés dans le titrage et dans le dosage fait donc connaître la proportion de fer avec une approximation de 1 milligramme.

Le procédé Margueritte, pratiqué ainsi que nous venons de le dire, n'est pas influencé par la présence des substances étrangères, autres que le carbone, ordinairement contenues dans les fontes, les fers ou les aciers. La silice et l'acide phosphorique, les oxydes de manganèse, de nickel, de cobalt, de chrome, n'éprouvent aucune modification par l'emploi des liqueurs réductrice et oxydante. Le tungstène et le titane doivent être isolés dans les premières opérations. L'arsenic et le cuivre pourraient avoir une influence par suite de leurs changements d'état d'oxydation; mais l'arsenic, ordinairement en très faible quantité, est éliminé dès le début, lors de l'attaque du fer par l'acide chlorhydrique ou sulfurique; le cuivre et ce qui peut rester d'arsenic sont précipités par le zinc métallique, ils n'entravent donc pas le dosage du fer.

B. — *Méthode du protochlorure d'étain, du bichlorure de mercure et du bichromate de potasse.*

La seconde méthode, qui nous semble devoir être particulièrement recommandée, si l'on veut opérer sur une liqueur chlorhydrique, a été formulée par F. Kessler (*Zeitschrift für analytische Chemie*, 1872); elle est fondée sur la réduction du perchlorure de fer par le protochlorure d'étain, dont l'excès est ramené à l'état de bichlorure par le bichlorure de mercure, et sur l'oxydation du protochlorure de fer par le bichromate de potasse en solution titrée, suivant le procédé de Penny.

On commence par dissoudre le métal et brûler le carbone comme précédemment, en attaquant 1 gramme des copeaux métalliques par l'acide chlorhydrique, filtrant, s'il y a lieu de séparer le graphite, et peroxydant par le permanganate de potasse ou l'acide chromique, de manière à détruire la matière organique. Quand il n'y a plus aucune odeur de chlore, on étend d'eau et l'on forme exactement 500 centimètres cubes, mesurés à froid. On fait alors deux dosages, chacun sur 200 centimètres cubes de la solution ferrique.

Le liquide étant placé dans un verre cylindrique, on y verse une solution de protochlorure d'étain, qui fait disparaître peu à peu la coloration jaune du perchlorure de fer. On va jusqu'à la disparition complète, en employant le protochlorure en léger excès; mais, avant de procéder au dosage, on détruit tout excès de ce réducteur au moyen d'une quantité plus que suffisante (par exemple 10 centimètres cubes d'une solution saturée) de bichlorure de mercure, qui le fait passer à l'état de bichlorure d'étain, en formant lui-même un précipité de protochlorure de mercure. L'excès de bichlorure de mercure et celui de bichlorure d'étain sont sans action sur le protochlorure de fer, de même que sur le réactif oxydant à employer par la suite.

Sans séparer le dépôt, on procède au dosage du sel ferreux par le bichromate de potasse en solution titrée, en se servant du prussiate rouge comme indicateur, procédant par touche et déterminant la fin de la réaction de la façon suivante :

On verse le bichromate dans la solution ferreuse assez fortement acide pour qu'il ne puisse pas se produire d'oxyde salin brun de chrome, mais seulement du sesquichlorure, donnant à la liqueur une coloration de plus en plus verte. Lorsqu'on croit avoir presque achevé la peroxydation du fer, on prend avec la baguette de verre une

goutte de la liqueur et on la porte sur une soucoupe de porcelaine, où l'on a, d'avance, déposé des gouttes de ferricyanure de potassium. Le contact des gouttes détermine aussitôt une tache d'un bleu foncé, s'il y a une proportion notable de sel ferreux; à mesure qu'il reste moins de ce sel, il faut plus de temps et des gouttes plus grosses pour que l'effet se produise. Il n'y a plus de coloration bleue, dès que le fer a été entièrement peroxydé. Mais, au lieu de s'arrêter à la disparition du phénomène, il vaut mieux, pour terminer, procéder en sens contraire et s'arrêter à l'apparition de la couleur bleue; cela permet plus de précision. A cet effet, on ne craint pas de mettre quelques gouttes de trop de bichromate, pour être sûr que la peroxydation soit complète et on lit exactement le volume de la solution titrée. On verse alors une solution de protochlorure de fer, titrée par comparaison avec la précédente, et on porte de même des gouttes du liquide au contact de gouttes de ferricyanure de potassium; on s'arrête au moment où apparaît la coloration bleue. On fait aussitôt la lecture et l'on retranche du nombre des divisions de bichromate le nombre des divisions du protochlorure de fer. On peut même répéter deux ou trois fois la transformation, alternativement par l'oxydant et par le réducteur, et prendre la moyenne des lectures, comme plus sûre qu'une seule d'entre elles.

Pour préparer la solution titrée de bichromate, F. Kessler a recommandé de fondre le sel, purifié par cristallisation, dans un vase de verre placé lui-même dans un bain de bichromate du commerce fondu sur le feu; s'il arrive que celui-ci perde un peu d'oxygène, cela n'est pas à craindre pour le bichromate qui n'est pas chauffé à feu nu.

La solution décime est préparée au moyen d'un dixième d'équivalent de bichromate (14^{gr},726) et d'eau distillée jusqu'à un litre. Cette solution a l'avantage d'être facile

à obtenir et de se conserver parfaitement en flacon bouché à l'émeri.

Les substances étrangères, qui se rencontrent dans les fontes et aciers, sont, pour la plupart, sans influence; cependant il est nécessaire d'éliminer le cuivre, dont le chlorure empêcherait de distinguer la réaction normale d'une très petite quantité de protochlorure de fer sur le ferricyanure de potassium.

Il suffit, pour se débarrasser du cuivre (et accessoirement de l'arsenic, s'il en reste) de les précipiter par l'hydrogène sulfuré dans la première solution chlorhydrique; on filtre pour isoler les sulfures avec la silice et le graphite, on chasse l'hydrogène sulfuré par la chaleur et l'on peroxyde par le permanganate, puis on continue l'opération telle que nous venons de la décrire.

MARCHE A SUIVRE POUR UNE ANALYSE
D'ACIER ORDINAIRE.

Après avoir exposé les méthodes par lesquelles on arrive à faire isolément le dosage des différentes substances qui peuvent se rencontrer dans des échantillons variés de fonte, de fer ou d'acier, nous ne chercherons pas à tracer ici la marche d'une analyse générale, dans laquelle on voudrait tenir compte à la fois de tous les éléments, communs ou rares, dont la présence peut être due soit à la composition des minerais, soit aux substances introduites au cours de la fabrication. Mais il peut y avoir quelque utilité à revenir en peu de mots sur la marche à suivre la plus simple pour analyser un acier ordinaire et y doser les éléments qu'il contient le plus fréquemment, c'est-à-dire le carbone, le silicium, le phosphore, le soufre, le manganèse et peut-être le cuivre et le nickel.

On peut se borner à faire trois opérations distinctes : l'une pour le carbone, la seconde pour le silicium et le phosphore, la troisième pour le soufre et les métaux.

1° — *Carbone.*

La détermination du carbone total se fait dans une opération spéciale, par l'une des méthodes indiquées (pages 367-402). On opère sur une prise d'essai de 1 à 5 grammes, suivant la nature du métal. On peut recommander, dans la plupart des cas, soit la dissolution des métaux par le chlorure double de cuivre et de potassium, suivie de la combustion du carbone par voie sèche ou par voie humide (p. 379), soit l'attaque oxydante des métaux et du carbone par l'emploi simultané de l'acide sulfurique et de l'acide chromique (p. 391 et 395).

Le dosage du graphite et l'estimation du carbone combiné, si on les jugeait utiles, se feraient par deux opérations distinctes, l'une sur 2 ou 5 grammes (p. 402), l'autre sur 0^{gr},10 de métal (p. 403).

2° — *Silicium et phosphore.*

Suivant la teneur présumée en silicium, on opérera sur une quantité de 2 à 5 grammes de métal; cette quantité pourra être trop grande pour le phosphore; mais il suffira de faire le dosage de cet élément sur une partie seulement du liquide mesuré après séparation de la silice.

Celle-ci est isolée par attaque du métal au moyen de l'acide azotique, évaporation avec de l'acide sulfurique et redissolution par l'eau. On la pèse après lavage et calcination et on vérifie ou rectifie ce dosage en chauffant avec de l'acide fluorhydrique et de l'acide sulfurique, puis terminant par une calcination et une nouvelle pesée.

Après destruction des composés du carbone par l'acide chromique, on précipite le phosphomolybdate d'ammoniaque à 100°; on le redissout par l'ammoniaque et on le précipite une seconde fois à 40° avec une composition bien définie; puis on le dose, soit par pesée directe, soit par une méthode volumétrique (p. 420 à 425).

3° — Soufre et métaux.

On opère sur 5 grammes du métal en copeaux ou en grains; on l'attaque par l'acide chlorhydrique étendu d'eau, après avoir balayé l'air des appareils par l'acide carbonique. On complète l'attaque, en chauffant jusqu'à ébullition, et, renouvelant le courant d'acide carbonique, on fait passer tous les gaz dégagés dans un appareil à boules que l'on a garni, ou d'acide chlorhydrique bromé, ou de permanganate de potasse rendu alcalin, ou d'eau oxygénée rendue ammoniacale. L'hydrogène sulfuré dégagé (p. 441 à 443) est transformé en acide sulfurique et dosé à l'état de sulfate de baryte. Il est parfois nécessaire de reprendre, par voie humide ou par voie sèche, le résidu de la première attaque, pour y doser le soufre qu'il peut encore contenir (p. 440).

On continue le dosage des métaux sur la solution chlorhydrique provenant de l'attaque. Cette liqueur est évaporée à sec, chauffée à 120° et reprise par l'acide chlorhydrique, étendue d'eau et filtrée, puis peroxydée à l'ébullition par de l'acide azotique versé goutte à goutte ou par un courant de chlore; on chasse le chlore ou les vapeurs nitreuses par la chaleur et on réduit le liquide à un volume de 10 à 15 centimètres cubes.

On applique alors le procédé de Rothe pour éliminer le perchlorure de fer au moyen de l'éther (p. 482) et on procède au dosage des autres métaux, manganèse, nickel

et cuivre, s'il y a lieu, suivant les méthodes qui ont été précédemment indiquées (p. 498).

Nous ne croyons pas devoir parler ici de la recherche des gaz (azote, hydrogène, hydrogènes carbonés, oxyde de carbone et acide carbonique), qui peuvent exister dans les fontes, les aciers ou les fers. De très intéressantes expériences ont été faites sur ce sujet par Frémy, Troost et Hautefeuille, Ledebur, Frésenius, Ullgreen, Müller.

Mais nous nous bornerons à signaler ces travaux, sans les analyser. L'extraction des gaz est une opération délicate et, dans l'état actuel de nos connaissances, il ne semble pas que l'on puisse encore tirer de leur dosage aucune conclusion précise sur les propriétés des métaux, où ils sont renfermés.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Introduction	357
Prise d'essai pour l'analyse	358
Essais chimiques	360
DOSAGE DU CARBONE	361
États variés du carbone	362
Carbone total	367
I. Méthodes de voie sèche	367
A. Oxydation par l'oxygène au rouge	367
Emploi d'un courant de chlore sec	373
B. Oxydation par le bisulfate de potasse au rouge	374
II. Méthodes de voie humide	376
A. Emploi de bichlorure de mercure	377
B. Emploi de bichlorure de cuivre et du chlorure de potassium	379
C. Emploi direct et simultané de l'acide sulfurique et de l'acide chromique	387
Modifications à la méthode d'attaque par les acides sulfurique et chromique	391
D. Détermination de l'acide carbonique en volume	395
Graphite et carbone graphitique	402
Carbone combiné et dissous	403
DOSAGE DU SILICIUM	410
I. Voie sèche	441
A. Grillage et emploi de l'acide chlorhydrique gazeux	311
B. Emploi du bisulfate de potasse	413
II. Voie humide	413
A. Emploi de l'acide sulfurique	413
B. Emploi des acides azotique et chlorhydrique	415
DOSAGE DU PHOSPHORE	416
Méthodes pondérales	417
A. Dosage à l'état de phosphomolybdate d'ammoniaque	417

	Pages.
B. Dosage à l'état de pyrophosphate de magnésic	418
C. Méthode de Boussingault et Müntz	419
D. Méthode de A. Carnot	420
Méthode volumétrique	424
Recherche du phosphore, de l'arsenic et du cuivre	426
Dosage de l'arsenic à l'état d'arséniate de bismuth	430
Dosage de l'arsenic seul à l'état de sulfure	431
Méthode d'analyse par le chlore sec (Schlœsing)	433
DOSAGE DU SOUFRE	438
Méthodes pondérales (pesée du sulfate de baryte)	438
I. Après dissolution totale par l'eau régale	438
II. Après dissolution du fer seul	439
III. Après volatilisation du soufre	440
A. Par l'emploi d'acides non oxydants	440
B. Par l'emploi de gaz hydrogène et acide carbonique	443
C. Par l'emploi du chlore sec	446
Méthodes volumétriques et colorimétriques (par dégagement d'hydrogène sulfuré)	446
I. Lame d'alliage argent et cuivre	446
II. Papier à l'acétate de plomb	447
III. Toile à l'acétate de cadmium	449
IV. Dosage volumétrique du sulfure de cadmium par l'iode	451
DOSAGE DU MANGANÈSE	452
I. Métal riche en manganèse	453
A. Méthode pondérale par les acétates et le brome	453
B. Méthode volumétrique par l'oxyde de zinc et le permanganate de potasse	455
II. Métal contenant quelques centièmes de manganèse	458
C. Méthode pondérale par le chlorate de potasse	458
D. Dosage volumétrique après emploi de chlorate	461
E. Méthode volumétrique par l'eau oxygénée et l'ammoniaque	462
III. Métal ne renfermant que quelques millièmes de manganèse	466
F. Méthode volumétrique par le bioxyde de plomb	466
G. Méthode volumétrique par le tétroxyde de bismuth	469
H. Méthodes colorimétriques	470
1. Coloration par l'acide permanganique	470
2. Coloration par les métaphosphates manganiques	475
SÉPARATION DU FER DE DIVERS AUTRES MÉTAUX PAR DISSOLUTION DU PERCHLORURE DE FER DANS L'ÉTHÉR	481

	Pages
DOSAGE DU CHROME	483
I. Désagrégation et séparation du chrome	486
a. Emploi de la potasse et du chlorate de potasse	486
b. Emploi du bisulfate de potasse, du carbonate et du nitre	486
c. Emploi de l'acide chlorhydrique, du carbonate de potasse et du nitre	487
d. Emploi de l'acide sulfurique, de l'acide azotique et du chlorate de potasse	488
e. Emploi de l'acide sulfurique et du permanganate de potasse	489
f. Emploi de l'acide azotique et du bioxyde de plomb	489
II. Dosage pondéral	490
A. Précipitation à l'état de chromate de plomb	490
B. Précipitation du chromate mercurieux	491
C. Réduction de l'acide chromique par l'hydrogène sulfuré	491
D. Réduction par l'eau oxygénée	492
III. Dosage volumétrique	493
E. Par le sel de Mohr	493
F. Par l'eau oxygénée	494
G. Dosage du chrome et du manganèse	496
<i>Aciers au nickel</i>	498
<i>Aciers au nickel et au chrome</i>	500
DOSAGE DU TUNGSTÈNE	504
DOSAGE DU MOLYBDÈNE	507
DOSAGE DU TITANE	508
I. Titane seul	509
II. Titane, phosphore et arsenic	511
RECHERCHE DU VANADIUM	513
DOSAGE DE L'ALUMINIUM	515
I. Alliages riches en aluminium	515
II. Fontes ou aciers renfermant de très faibles proportions d'aluminium	516
A. Précipitation du phosphate d'alumine après réduction du sel de fer	516
B. Dosage de l'alumine après séparation du fer par l'électrolyse	518
RECHERCHE SIMULTANÉE DE L'ALUMINIUM, DU CALCIUM ET DU MAGNÉSIUM	519

	Pages
DOSAGE DU LAITIER OU DE LA SCORIE ET DES MÉTAUX TERREUX ET ALCA-LINO-TERREUX	522
A. Méthode de voie sèche	522
B. Méthode de voie humide pour le dosage de la scorie et de l'oxyde de fer	524
DOSAGE DU FER	526
I. Par l'électrolyse	526
II. Par les procédés volumétriques	529
A. Méthode du permanganate de potasse	529
B. Méthode de protochlorure d'étain, du bichlorure de mercure et du dichromate de potasse	533
MARCHE A SUIVRE POUR UNE ANALYSE D'ACIER ORDINAIRE	536

BULLETIN
DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI DES APPAREILS A VAPEUR
 PENDANT L'ANNÉE 1894.

(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
26 janv.	Lavoir, à Boulogne-sur-Seine (Seine).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs. Diamètre des bouilleurs, 0 ^m ,60. Longueur, 4 mètres. Surface de chauffe de la chaudière, 16 mètres carrés. Capacité, 5 ^m 3,816. Timbre, 6 kg. Construite vers la fin de 1885. On avait employé pour les demi-viroles supérieures des bouilleurs une tôle phosphoreuse (plus de 3 millièmes de phosphore), peu ductile en travers, supportant mal en travers les efforts de ployage; cette tôle avait été précisément cintrée en travers (sens du laminage suivant l'axe du bouilleur), percée à la poinçonneuse sans aléser les trous, et vraisemblablement ajustée sur les demi-viroles inférieures à l'aide de broches.	Déchirure de la demi-virole supérieure avant du bouilleur de droite. Le long de la rivure longitudinale de gauche. Sur la moitié de son étendue, cette déchirure, qui affectait la tôle intérieure de l'assemblage, n'avait pas son emplacement suivant la ligne des trous de rivets, mais dans la bande de recouvrement des deux tôles, entre la ligne des rivets et la ligne d'appui du matage de la tôle extérieure. Il paraît y avoir eu, dans cette partie, des commencements de fissure préexistants. La virole s'est déroulée à la faveur de cette déchirure et de deux déchirures transversales, l'une à l'arrière suivant la rivure circulaire d'attache avec la virole arrière, l'autre à l'avant suivant deux lignes obliques en pleine tôle et une portion de la rivure d'attache avec la tôle en fonte. Celle-ci fut projetée vers l'avant; le reste de la chaudière fit un bond en l'air vers l'arrière. Le bâtiment dans le sous-sol duquel était l'appareil fut entièrement dévoté.	Par suite de l'effondrement du bâtiment, trois personnes tuées et quatre blessées grièvement.	L'accident doit être rapporté, comme causes essentielles, à l'insuffisance de la qualité de la tôle, surtout en raison du sens dans lequel elle a été mise en œuvre, et d'une manière générale à la médiocrité de la construction.
8 février.	Atelier de construction mécanique, à Pont-l'Évêque (Rhône).	Chaudière horizontale à foyer intérieur, non tubulaire, timbrée à 5 kg. Diamètre du foyer, 0 ^m ,66, longueur, 2 ^m ,50. Épaisseur de la tôle, 0 ^m ,010. On alimentait avec les eaux de condensation de la machine, sans que celles-ci eussent subi au préalable aucune épuration. Il n'y avait pas eu de nettoyage intérieur depuis novembre 1893.	Le foyer a reçu un coup de feu au-dessus de la grille, et s'est affaissé en une poche de 0 ^m ,90 de long sur 0 ^m ,80 de large, au milieu de laquelle la tôle s'est déchirée suivant une section droite, sur 0 ^m ,80 de longueur, avec 0 ^m ,09 de billement. On a constaté des traces évidentes de la présence de matières grasses dans l'appareil.	"	Coup de feu causé par la présence de matières grasses dans cette chaudière, qui n'avait pas été nettoyée assez fréquemment et qui était alimentée avec des eaux de condensation non épurées.
8 février.	Brûlerie de papier, à Barentin (Seine-Inférieure).	Chaudière à petits éléments, système De Naeyer, de 183 mètres carrés de surface de chauffe et 10 ^m 3,614 de capacité, timbrée à 10 kg. Le conduit central du réservoir supérieur ne se prêtait pas commodément à un nettoyage complet. Les deux tubes indicateurs du niveau de l'eau, dont la chaudière était pourvue, étaient montés sur des clarinettes qui communiquaient par tuyaux, d'une part avec le collecteur inférieur arrière, d'autre part avec le dessus avant du réservoir supérieur (en dehors du conduit central), et par suite étaient susceptibles de montrer un niveau trompeur, si un étranglement du conduit central accroissait la pression dans le faisceau tubulaire par rapport à celle régnant dans le réservoir supérieur.	Surchauffe de toute la partie centrale du faisceau des tubes bouilleurs et déchirure de l'un de ceux-ci sur 0 ^m ,45 de longueur. Il a été constaté que le conduit central du réservoir supérieur était entartré, de telle sorte que sa section restée libre pouvait équivaloir à un cercle de 0 ^m ,07 ou 0 ^m ,08 de diamètre, au lieu de 25. La vapeur se fit jour par les fentes des portes et par des brèches et fissures dans la maçonnerie latérale du fourneau, partiellement éventrée; mais les portes tinrent bon et l'accident fut inoffensif.	"	Coup de feu par manque d'eau, provenant d'une obstruction du conduit central du réservoir supérieur. Cette obstruction créait, dans le mouvement de circulation des fluides à l'intérieur du générateur, une perte de charge capable de réagir sur les indications des deux tubes de verre indicateurs du niveau de l'eau.
2 mars.	Hauts-fourneaux, au Pouzin (Ardèche).	Chaudière horizontale à flammes renversées, chauffée par le gaz des hauts-fourneaux. Corps supérieur de 1 ^m ,50 de diamètre et 15 mètres de longueur; corps inférieur de 1 ^m ,20 de diamètre et 13 ^m ,95 de longueur. Age, 30 ans. Timbre primitif, 2,5 atmosphères absolues, élevé en 1887 à 2 ^m ,5. Appareil imparfaitement soutenu, dont le corps inférieur était ovalisé et dont l'état d'entretien laissait à désirer. La tôle dans laquelle s'est produite la déchirure initiale a donné, aux essais	Déchirure de la tôle inférieure de l'avant-dernière virole (vers l'arrière) du corps inférieur, le long de la rivure longitudinale de gauche. Cette déchirure, qui affectait la tôle intérieure de l'assemblage, n'avait pas son emplacement suivant la ligne des trous de rivets, mais dans la bande de recouvrement des deux tôles, entre la ligne des rivets et la ligne d'appui du matage de la tôle extérieure. Il y avait une fissure préexistante sur 0 ^m ,40 environ de longueur. La virole s'est déroulée à la	"	Fatigue et aigreur des tôles de cette chaudière d'âge ancien. L'avarie initiale a consisté dans la fissuration d'une tôle le long d'une clojure longitudinale, non suivant la ligne des trous de rivets, mais dans la région du recouvrement, entre les trous de rivets et le matage de la tôle adjacente. Cette fissuration paraît elle-même devoir être rapportée à des efforts de

Tome VIII, 1895.

33

514 BULLETIN DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR

SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1894. 545

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou 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 mars (suite).	Hauts-fourneaux, au Pouzin (Ardeche) (suite).	de traction faits après l'accident, environ 28 ou 29 kg. de résistance à la rupture, 5,5 p. 100 d'allongement en long et 2 p. 100 en travers.	favor de cette déchirure et de deux déchirures circulaires à l'avant et à l'arrière, dont la deuxième a entraîné la fragmentation de la virole arrière.	"	flexion que la tôle a été incapable de supporter.
11 mars.	Battage des grains, à Sommereux (Oise).	Chaudière locomobile à foyer intérieur et faisceau tubulaire horizontal à flamme directe, timbrée à 5 kg. Tubes à fumée de 0 ^m ,065 de diamètre et 2 ^m ,02 de longueur, en fer, rabotés en cuivre du côté du foyer, et bagnés aux deux extrémités.	Un tube a été projeté, enlevant complètement sa bague d'assemblage du côté de la boîte à fumée, et abandonnant dans la plaque tubulaire du foyer une partie du rabotage en cuivre et la bague correspondante. Il s'était rompu circulairement dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée, entre bague et plaque; cette cassure était ancienne.	"	Avarie ancienne dont l'origine reste incertaine.
19 mars.	Usine de blanchiment et apprêt d'étoffes, à Courbevoie (Seine).	Tambour sécheur de 0 ^m ,64 de diamètre et 1 ^m ,66 de longueur (capacité, 0 ^m 3,920), formé d'une virole en tôle de cuivre de 2 millim. d'épaisseur, réunie à elle-même par brasure suivant un assemblage à languettes, et de deux plateaux terminaux en fer; à chaque extrémité de la virole la tôle de cuivre était repliée vers l'intérieur à angle vif et serrée entre le plateau et une couronne circulaire. Ce récipient et deux autres constituaient une machine à sécher les étoffes, recevant la vapeur de chaudières timbrées à 6 kg. sans interposition de soupape; le tuyau de purge portait un robinet, qu'on dit d'ailleurs avoir été ouvert lors de l'accident.	L'un des cylindres s'étant écrasé par l'effet du vide, on disposa la machine pour travailler avec les deux autres, puis on ouvrit sur ceux-ci l'admission de vapeur aux trois quarts, parait-il, ce qui correspondait, depuis la suppression du troisième cylindre, à une entrée de vapeur notablement plus large que la sortie; enfin la machine demeura ainsi un temps notable sans travailler. — Ouverture de la virole cylindrique, suivant l'assemblage brasé, sur 0 ^m ,45 de longueur, à partir d'une des extrémités; à cette extrémité, déchirure circulaire suivant le pli d'assemblage avec le plateau terminal. Sur le reste de la longueur, les deux cylindres déchirés furent projetés.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Absence totale de précautions dans l'usage d'un cylindre sécheur d'âge ancien, qui n'était ni timbré, ni déclaré, dont la construction était d'ailleurs défectueuse et dont l'état laissait à désirer.
25 mars.	Usine de fer, à Saint-Germain-des-Fossés (Réseau Paris-Lyon-Méditerranée).	Chaudière locomotive timbrée à 10 kg., munie de 177 tubes à fumée, en laiton, de 50 millim. de diamètre, 4 ^m ,292 de longueur et 2 millim. d'épaisseur primitive.	Un tube à fumée, dont la pose datait du 19 septembre 1880, s'est écrasé sur un 4 ^e de son cours, côté du foyer. Le chauffeur, qui se trouvait sous la machine, dans une fosse à piquer le feu, pour nettoyer la grille, fut brûlé au visage et à la main.	Chauffeur brûlé, 27 jours d'incapacité au travail.	Usure du tube.
28 mars.	Mine de houille, à Héquin-Liétard (Pas-de-Calais).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, de 90 mètres carrés de surface de chauffe et 28 ^m 3,883 de capacité. Le fourneau est construit de telle sorte que les bouilleurs et la moitié inférieure du corps cylindrique sont dans un même carneau général perpendiculaire à l'axe de l'appareil. Alimentation par pompe desservant l'ensemble d'une batterie de neuf chaudières semblables.	Le chauffeur ayant entendu un jet de vapeur dans le foyer, le chef mécanicien fit évacuer la chaudière et ferma les communications de vapeur entre les chaudières. Il achevait, quand les deux premières viroles du corps cylindrique se déchirèrent, suivant une génératrice. Grâce aux mesures prises, personne ne fut blessé. Vestiges évidents de manque d'eau.	"	Surchauffe, consécutive à un manque d'eau dont les causes n'ont pas été déterminées avec précision.
3 avril.	Tissage de coton, à Darnétal (Seine-Inférieure).	Tambour sécheur de 0 ^m ,60 de diamètre et 1 ^m ,20 de longueur (capacité, 0 ^m 3,340), formé d'une virole en tôle de cuivre de 1 ^m 5 d'épaisseur, et de deux plateaux terminaux en fonte. Chacun de ces plateaux était emboîté dans l'extrémité correspondante du cylindre; sur cette extrémité était engagé un anneau extérieur (frette posée à froid), et de la soudure avait été coulée pour solidariser le tout. Aucun entretoisement ne réunissait les deux plateaux. Ce récipient et cinq autres constituaient une machine à parer, pourvue d'une soupape de sûreté chargée pour moins de 1 ^{kg} ,5. Appareil datant de 1872, et timbré à 2 kg. postérieurement à sa construction.	Au cours du fonctionnement, un peu après que la soupape avait légèrement soufflé, les deux plateaux terminaux se détachèrent de la virole cylindrique. Il a été constaté que la soudure avait très imparfaitement pénétré entre les faces métalliques des parties assemblées; de plus l'exécution des assemblages aurait dû comporter la pose de quelques goujons contribuant à fixer le cylindre aux plateaux terminaux. Ces goujons eux-mêmes manquaient au cylindre dont il s'agit.	Un ouvrier a eu la jambe brisée et a reçu en outre quelques brûlures.	Insuffisance de résistance des assemblages du cylindre en cuivre avec les fonds en fonte. Par la constitution générale et l'exécution particulière de ces assemblages, par l'absence d'entretoisement des deux fonds, la construction du cylindre était tout à fait vicieuse, et impropre pour un appareil appelé à travailler sous une pression effective notable.
27 avril.	Brasserie, à Paris.	Chaudière à petits éléments, système Pressard, dont les tubes bouillants, de 120 millim. de diamètre pour les deux rangées inférieures et de 71 millim. pour les autres, tous parallèles entre eux et inclinés de 1/10 ^e ,	Le tube inférieur situé le plus à gauche s'est déchiré dans la région du coup de feu, au voisinage de la génératrice inférieure, sur 0 ^m ,35 de longueur. Ce tube et ses voisins étaient infléchis vers le bas et por-	"	Surchauffe intense d'un tube de la rangée inférieure, ayant eu pour causes, suivant toutes les vraisemblances, l'entassement du tube, et les mauvaises con-

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou 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	
27 avril (suite).	Brasserie, à Paris (suite).	sont reliés deux à deux, à l'avant, au moyen de boîtes en fonte, et sont, à l'arrière, tous insérés dans une caisse collectrice générale. Capacité, 3 ^m 3,342. Timbre, 12 kg.	taient les vestiges d'une surchauffe intense. Il a été constaté que ces tubes étaient fortement entartrés.	"	ditions de circulation de l'eau résultant de la disposition de l'appareil.	
29 avril.	Station centrale d'électricité, à Paris.	Chaudière à petits éléments, système Belleville, comprenant 112 tubes bouilleurs de 95 millim. de diamètre intérieur et 2 mètres de longueur. Surface de chauffe, 70 mètres carrés. Timbre, 15 kg. Un des axes mobiles de l'automoteur alimentaire était dépourvu de goupille et par conséquent susceptible de tomber. La production de vapeur, à l'heure de l'accident, dépassait certainement 25 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Installation composée de quatre générateurs.	Déchirure d'un tube de la partie inférieure du faisceau, dans la région du coup de feu, en dehors de la soudure, sur 0 ^m ,38 de longueur. La plupart des tubes inférieurs étaient infléchis vers le bas; l'élément crevé et celui situé à sa droite portaient des taches d'oxyde des battitures. Cinq chevilles fusibles sur sept étaient fondues.	Un chauffeur brûlé grièvement.	Surchauffe par manque d'eau, qui a affecté la partie inférieure du faisceau, et dont les causes paraissent devoir être rapportées, en totalité ou en majeure partie, au surmenage des générateurs et aux négligences de l'entretien des appareils annexes.	
11 mai.	Bateau à vapeur, en rade de Brest (Finistère).	Chaudière horizontale à foyer cylindrique intérieur et retour de flamme tubulaire, de 41 ^m 2,2 de surface de chauffe; les tubes, au nombre de 46, en laiton, ont 62 millim. de diamètre intérieur, 1 ^m ,02 de longueur et 2 ^m ,5 d'épaisseur à l'état neuf; timbre, 5 kg. Appareil construit en 1873; la moitié des tubes avait été, paraît-il, changée en 1888.	L'un des deux tubes les plus voisins de la génératrice supérieure du foyer s'est déchiré à son extrémité voisine de la boîte à feu, près de la bague qui le fixait dans la plaque tubulaire de cette boîte; il s'en est détaché un éclat de forme tourmentée, de 0 ^m ,06 de longueur sur 0 ^m ,02 de largeur moyenne, dont l'épaisseur n'était que de 1 millim. à 1 ^m ,2 et dont le métal était malléable. Au voisinage, l'épaisseur du tube était réduite à 4 ^m ,3 environ. Le flux de vapeur et d'eau a fait tomber l'une des portes de la boîte à fumée, dont on ne sait	Le mécanicien, grièvement brûlé, est mort après être resté un an à l'hôpital.	Usure du tube. La gravité des conséquences de sa rupture est attribuable notamment à ce que le flux de vapeur et d'eau a pu faire tomber l'une des portes de boîte à fumée et envahir la chambre de machine, d'où le mécanicien a eu peine à sortir par l'échelle.	
11 mai.	Manufacture de caoutchouc, aux Lilas (Seine).	Récipient à vulcaniser, en tôle, de 0 ^m ,70 de diamètre et 2 ^m ,15 de longueur (capacité, 0 ^m 3,780), fermé à l'une de ses extrémités par un couvercle en fonte. Celui-ci, de forme bombée (flèche, 0 ^m ,073), présentait à son pourtour une rainure circulaire, de 0 ^m ,78 de diamètre, proélevée à angles vifs, qui recevait un cercle en caoutchouc destiné à faire joint en s'appliquant contre une saillie circulaire de la collerette du corps cylindrique; six boulons à charnière, engagés dans des encoches périphériques, maintenaient l'assemblage. L'épaisseur du couvercle, qui était de 45 millim. dans la partie centrale, puis augmentait jusqu'à 60 millim. vers le pourtour, était brusquement réduite, à l'endroit de la rainure, à 20 millim. Timbre, 6 kg.	mécanicien, frappé aux jambes par la chute de cette porte et suffoqué par la vapeur, a eu peine à gagner l'échelle verticale de sortie.	On se trouvait à une période du travail où la pression montait (mais sans qu'on ait eu raison de penser qu'elle ait été exagérée), lorsque le bord du couvercle se brisa, le long de la section faible déterminée par la rainure; dans le sens radial, les fragments sont pour la plupart limités par les encoches. La partie centrale du couvercle a été projetée à 9 mètres, les fragments du bord ont été diversement projetés, le reste du récipient a reculé de 1 ^m ,50.	Deux ouvrières grièvement blessées, l'une atteinte par le renversement d'un cloison, l'autre contusionnée au genou en se sauvant par une fenêtre. Deux autres ont été renversées par la bouffée d'air, mais n'ont reçu que des contusions sans gravité.	L'explosion paraît avoir eu pour cause essentielle la forme vicieuse du couvercle en fonte, dont le profil comportait, dans la section des plus grands efforts, une rainure à angles vifs qui l'affaiblissait exagérément.
14 mai.	Hôtel, à Paris.	Chaudière à petits éléments, système Davey Paxman, comprenant deux faisceaux tubulaires placés l'un au-dessus de l'autre et inclinés en sens inverses. Chaque faisceau était composé de deux éléments accolés, et chaque élément formé par trois tubes de 102 millim. de diamètre et 2 ^m ,134 de longueur, assemblés à chaque extrémité par sertissage au dudgeon dans une boîte collectrice en fonte. Les boîtes collectrices du faisceau inférieur recevaient l'eau d'alimentation, à leur base, d'un collecteur horizontal sur lequel chacune d'elles était assemblée au moyen d'une bague biconique et d'un boulon à ancre. Volume de l'appareil, 0 ^m 3,730. Timbre, 5 kg.	Au cours du fonctionnement de la chaudière, sous une pression de 4 ^k ,5, le tube de coup de feu de l'élément inférieur de droite s'est déboîté de sa boîte collectrice arrière. L'empreinte laissée sur ce tube par le sertissage était peu sensible. Il a été constaté que la communication entre le collecteur horizontal et la boîte collectrice avant de l'élément était aux trois quarts obstruée par les dépôts calcaires, et que le tube s'était infléchi vers le bas (flèche 30 millim.) et portait des traces d'oxyde des battitures. Ni les portes de boîte à tubes ni celle du foyer ne s'ouvrirent, mais des ouvriers, dont cette dernière était percée, et l'ouverture béante du cendrier laissèrent le flux brûlant se faire jour dans la chaufferie.	Chauffeur brûlé grièvement.	Accumulation de dépôts dans la communication de la boîte collectrice avant avec l'élément inférieur de droite. L'obstruction qui en est résultée, d'autant plus aisément que le tirant d'assemblage de cette boîte et du collecteur d'alimentation rétrécissait déjà le passage, a eu pour conséquence une surchauffe du tube inférieur de l'élément, qui s'est infléchi et déboîté de sa boîte collectrice arrière, dans laquelle il était imparfaitement dudgeonné.	

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou 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
22 mai.	Élévation d'eau, à Reims (Marne).	Réchauffeur composé de deux corps cylindriques horizontaux de 0 ^m ,80 de diamètre et 12 mètres de longueur, terminés chacun à l'avant par une tête en fonte, et alimentant une chaudière à bouilleurs. L'ensemble de la chaudière et du réchauffeur offre 150 mètres carrés de surface de chauffe, cube 4 ^m 3,195 et est timbré à 7 kg. L'eau d'alimentation, sous l'action d'une pompe, parcourt d'abord d'arrière en avant le corps réchauffeur du bas, puis d'avant en arrière celui du haut, et se rend au générateur proprement dit par une conduite de 0 ^m ,08 de diamètre, qui, après avoir pénétré de haut en bas dans le corps cylindrique principal, s'y bifurque en deux branches aboutissant dans les bouilleurs. Aucune soupape de sûreté n'est placée sur la pompe, sur la conduite d'alimentation, ni sur le réchauffeur. L'appareil n'était en service que depuis 47 jours.	Arrachement de la tête en fonte du corps réchauffeur supérieur par excès de pression hydraulique, la communication entre le réchauffeur et le générateur étant à peu près totalement bouchée par le tartre. La précipitation des sels, restés dissous dans l'eau d'alimentation au sortir du réchauffeur, s'était faite sous l'action de l'élévation de température, dans la partie verticale du tuyau plongeant dans le corps supérieur de chaudière.	Chauffeur tué, la tête en fonte étant tombée sur lui.	Excès de pression hydraulique, causé par une obstruction du tuyau conduisant l'eau du réchauffeur aux bouilleurs de la chaudière. Cette obstruction paraît devoir être rapportée à la précipitation des sels dissous dans l'eau, qui sortait des réchauffeurs à une température inférieure à la limite de précipitation de ces sels, et qui, arrivée dans la partie de la conduite d'alimentation plongée dans le corps principal de la chaudière, se trouvait rapidement chauffée au-dessus de cette limite. En égard aux dispositions de l'installation, l'excès de pression a été le résultat naturel de l'obstruction du tuyau.
12 juin.	Teinturerie, à Arcueil (Seine).	Tambour sécheur de 0 ^m ,70 de diamètre, 0 ^m 3,769 de capacité, formé d'une tôle de cuivre de 2 millim. brisée suivant une génératrice, et de deux fonds en fonte. Chacun de ceux-ci porte à son pourtour une couronne cylindrique tournée extérieurement au diamètre intérieur du cylindre de cuivre; l'assemblage est obtenu au moyen de huit petits rivets, d'une tête extérieure posée à chaud, et d'une tête intérieure enfoncée à froid.	Au cours du fonctionnement de l'appareil, et sans qu'il paraisse y avoir eu excès de pression, projection du nouveau fond, qui a été divisé en fragments nombreux, peut-être parce qu'après avoir glissé tout d'une pièce, il s'est brisé contre les obstacles extérieurs.		L'explosion paraît la conséquence d'un défaut de solidité de l'assemblage d'un des fonds en fonte, récemment remplacé, avec la virole de cuivre.

20 juin.	Huilerie, à Bapaume (Pas-de-Calais).	extérieure du fond. Timbre, 1 kg. A la suite d'une avarie de l'appareil qui s'était ébréché par l'effet du vide, un des fonds avait été récemment élargé par un constructeur qui avait fait l'assemblage au moyen des huit rivets et de la frette extérieure seulement, sans rabattre l'extrémité de la virole de cuivre contre la face extérieure du nouveau fond.	Déchirure de la tôle inférieure du bouilleur de droite, le long de la rivure longitudinale de gauche. Cette déchirure, qui affectait la tôle extérieure de l'assemblage, avait son emplacement en dehors de la ligne des trous de rivets, dans la bande du recouvrement des deux tôles. Les circonstances n'ont pas permis de rechercher s'il y avait eu là des fissures préexistantes, mais on a constaté l'existence de criques suivant la ligne symétrique, c'est-à-dire le long de la rivure de droite du bouilleur de gauche.	Quatre hommes grièvement brûlés, dont deux mortellement.	Mauvais état d'un bouilleur d'âge ancien, dont la tôle était soumise à des causes particulières de surchauffe par suite des dépôts extrêmement abondants donnés par l'eau d'alimentation, et qui, bien que fréquemment nettoyé, n'avait pas été l'objet des visites extérieures prescrites par l'article 36 du décret du 30 avril 1880.
26 juin.	Distillerie, à Renescure (Nord).	Récipient cylindrique vertical de 1 ^m ,20 de diamètre, 2 ^m 3,658 de capacité, en tôle de fer de 11 millim. (épaisseur primitive). Timbre, 3 kg. Ce récipient, constituant un appareil à cuire et un monte-jus pour les vinasses, recevait la vapeur d'un serpent in perlé. Les liquides élaborés étaient notablement acides.	Vaste déchirure de la tôle cylindrique, qui était réduite, par corrosion intérieure, à une épaisseur minime sur une assez grande étendue. Sur une longueur de déchirure de plus de 0 ^m ,30, l'épaisseur était inférieure à 2 millim.	Un ouvrier a été renversé et s'est fait une blessure légère.	Corrosion intérieure profonde, causée par la nature acide des liquides élaborés dans le récipient.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou 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 juillet	Bateau à vapeur, en rade de Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).	Chaudière horizontale à deux foyers cylindriques intérieurs et retour de flamme tubulaire. Les foyers dataient de 1887. La dernière épreuve hydraulique avait eu lieu en septembre 1893. L'un et l'autre foyers étaient profondément amincis par la corrosion. Le dôme et le corps de chaudière présentaient aussi des amincissements considérables.	Déchirure de la tôle inférieure du tube-foyer tribord, dans la région arrière. Cette déchirure, tout entière en pleine tôle, a découpé deux lambeaux qui se sont relevés vers l'intérieur du foyer, laissant béant un vaste trou d'environ 0 ^m ,65 de long sur 0 ^m ,45 de large. Les épaisseurs de la tôle déchirée n'étaient que de 1 ^{mm} ,5 et 2 ^{mm} .	Un chauffeur, seul présent dans la chambre de machine, a été très grièvement blessé et brûlé, et est mort quelques heures après l'accident.	État de vétusté et de délabrement de la chaudière, dont la tôle qui s'est rompue et d'autres étaient profondément corrodées à l'intérieur.
18 juillet	Teinturerie, à Puteaux (Seine).	Chaudière horizontale à bouilleurs de 44 ^m 2 de surface de chauffe, 11 ^m 3,750 de capacité, timbrée à 3 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre, dont le tuyau de communication d'eau avait une très légère obstruction, et un flotteur à levier placé hors de la vue habituelle du chauffeur. Celle des deux branches de la fourche d'alimentation qui aboutissait dans le bouilleur de droite était presque complètement bouchée par le tartre.	Déchirure de la tôle de coup de feu du bouilleur de droite, au voisinage de la génératrice inférieure, sur 1 ^m ,60 de longueur, avec ballement de 0 ^m ,40. La tôle montrait les apparences classiques qui suivent une surchauffe. Aucun effet dynamique ne s'est produit. La chaudière était propre.	"	Surchauffe consécutive à un manque d'eau. Ce manque d'eau paraît devoir être attribué en partie à l'entartement d'une des branches de la fourche alimentaire.
21 juillet	Fabrique de bonneterie, à Paris.	Chaudière à petits éléments, système Belleville, de 38 mètres carrés de surface de chauffe, 0 ^m 3,815 de capacité. Timbre, 15 kg. La production de vapeur, à certains moments, dépassait certainement 22 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure. La communication inférieure du tube de verre était à peu près complètement obstruée par des dépôts boueux. Le sifflet de manque d'eau fonctionnait mal et irrégulièrement. Le débouché du tuyau d'alimentation dans l'épurateur pouvait être gêné par les concrétions résultant de la présence de sels dans l'eau.	Une baisse anormale de pression s'étant produite, le chef de service vint à la chaudière et constata que le robinet gradué d'alimentation était ouvert, que le petit cheval marchait, que le tube indicateur en verre marquait bonne hauteur d'eau. Peu après, rupture d'un des tubes de coup de feu, suivie d'un écoulement qui ne dura pas plus de 15 à 20 secondes. Une bouillie de vapeur vint dans la chaudière, mais sans atteindre personne. Le tube s'était ouvert suivant le mode habituel des accidents par surchauffe. Sa rupture fut très brève.	"	Surchauffe par suite de manque d'eau. L'allure vive de la combustion, l'obstruction partielle de la communication inférieure du tube indicateur en verre avec la colonne de niveau, l'abondance des dépôts au débouché du tuyau d'alimentation dans l'épurateur, le mauvais état des segments de piston du petit cheval,
21 juillet	Forges, à Trith-Saint-Léger (Nord).	Chaudière composée d'un corps cylindrique horizontal de 1 ^m ,55 de diamètre et 11 mètres de longueur, traversé de part en part par un gros tube de 0 ^m ,75 de diamètre. Capacité, 16 ^m 3,650. Timbre, 4 ^{kg} ,5. Cette chaudière, installée dans un fourneau de maçonnerie, est chauffée par les flammes perdues de deux fours à réchauffer, qui circulent respectivement le long de deux carneaux latéraux, puis font retour en semble par le tube intérieur. Au débouché des flammes dans chaque carneau, la tôle est garantie contre leur contact sur 2 mètres de longueur dans le sens des génératrices. Appareil datant de 1877, mais dont les tôles recevant les premières le contact des flammes avaient été remplacées en mars 1894 au moyen d'une tôle offrant 32 kg. de résistance à la rupture dans les deux sens, 16 p. 100 d'allongement dans le sens des génératrices du corps de chaudière et 8,5 p. 100 en travers.	Dans la feuille de tôle posée en mars, détachement d'un lambeau de pleine tôle, qui s'est rabattu en laissant béante une ouverture de 1 ^m ,40 X 0 ^m ,39. La partie adjacente du fourneau fut renversée, la toiture du local enlevée en partie; des matériaux furent projetés à 40 ou 50 mètres. La tôle ne présentait aucune trace de surchauffe. A la partie supérieure de la déchirure, sur 0 ^m ,40 de longueur, on constatait un défaut de soudure de cette tôle, qui était séparée en deux d'une manière très accusée.	Six ouvriers très légèrement brûlés.	Déchirure d'une tôle mal soudée, exposée au maximum d'action des flammes perdues d'un four à réchauffer. Les circonstances déterminantes de la déchirure n'ont d'ailleurs pas pu être entièrement précisées.
30 juillet	Battage des grains à Castagnède (Basses-Pyrénées).	Chaudière locomobile horizontale à foyer intérieur tronconique et retour de flamme tubulaire. Diamètres extrêmes du tube-foyer, 0 ^m ,37 et 0 ^m ,32. Surface de chauffe de la chaudière, 3 ^m 2,90. Capacité, 0 ^m 3,542. Timbre, 7 kg. Age inconnu (probablement au moins une trentaine d'années). La tôle du foyer, corrodée sur sa face baignée par l'eau, présentait une surface mamelonnée, et son épaisseur, qui semble avoir été primitivement 9 millim., était réduite à 5 millim. en moyenne, avec des minima de 4 et même de 3 ^{mm} ,5. En outre, par suite d'un coup de feu, ce foyer avait une bossa de 0 ^m ,65 de longueur et 0 ^m ,12 de flèche. La chaudière avait été mise au rebut et il avait été déclaré au service des mines qu'elle ne devait plus servir.	L'entrepreneur de battage, se trouvant à court de matériel, remit en service cet appareil réformé. Deux jours après, la chaudière étant en pression et le moteur stoppé, affaissement complet du ciel de foyer, avec déchirure suivant une section droite et ballement de 0 ^m ,09 à 0 ^m ,10. Aucune trace de surchauffe ni indice de manque d'eau.	Le chauffeur a été grièvement blessé (côté enfoncé et brûlures).	L'explosion a été le résultat du mauvais état de l'appareil, dont le ciel de foyer, corrodé et déformé antérieurement à l'accident, s'est affaissé et rompu.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou 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 août	Grue flottante, dans le port de Caen (Calvados).	Chaudière verticale à foyer intérieur et tubes bouilleurs pendants, système Field. Diamètre du corps cylindrique, 0 ^m ,90. Hauteur, 1 ^m ,85. Diamètre du foyer, 0 ^m ,80. Hauteur, 1 ^m ,08. Capacité, 0 ^m 3,647. Timbre, 6 ^k ,5. Construction, 1887. Le corps cylindrique, qui paraît avoir été construit en tôles de 10 millim., était partout quelque peu aminci; toutefois, en général, les épaisseurs ne descendaient pas au-dessous de 8 millim. On trouve comme minima 7 ^{mm} ,7 vers la partie supérieure de la partie cylindrique, et 6 millim. sur le fond embouti supérieur, près de la colerette de la cheminée.	La chaudière était en pression depuis trois quarts d'heure environ. Pendant la plus grande partie de ce temps, elle était restée sans fournir de vapeur à la machine et le chauffeur s'était éloigné, le bateau dont on devait effectuer le déchargement s'étant fait attendre; puis le travail avait commencé et quatre bennes avaient été déchargées, lorsque le corps cylindrique éclata en morceaux, dont six ont été retrouvés à diverses distances. Les deux plus volumineux étaient allés tomber respectivement à 180 mètres et 120 mètres; ils avaient pris une courbure transversale, c'est-à-dire qu'ils se trouvaient, après l'explosion, affecter une forme cylindrique dont les génératrices étaient les anciennes lignes circulaires du cylindre primitif. Le foyer était resté à peu près sur place, mais éccasé latéralement. On a retrouvé l'une des balances; elle était faussée et son manchon ne pouvait jouer; sa position correspondait, sur l'échelle graduée, au chiffre de 8 kg.	Trois personnes tuées et trois autres blessées, dont deux grièvement.	La cause de l'explosion, qui a entraîné la disparition d'une partie des débris de l'appareil, n'a pu être déterminée avec certitude. Un excès de pression est probable, mais non démontré.
6 août	Forges, à Louvroil (Nord).	Chaudière verticale à foyer intérieur et bouilleurs croisés, de 1 ^m 3,955 de capacité, timbrée à 4 kg. Le corps cylindrique, de 1 ^m ,45 de diamètre et 3 ^m ,45 de hauteur, était formé de quatre tôles de 11 millim. réunies entre elles par des lignes de rivets verticales; ces tôles avaient par suite leur plus grande dimension dans le sens vertical, et étaient éccasées dans le	Le chauffeur s'était éloigné de l'appareil, une heure un quart environ après l'allumage du feu, quand le corps cylindrique et son fond supérieur se déchirèrent, le cylindre se divisant en une série de lambeaux. Les fragments furent diversement projetés, l'un d'eux à 50 mètres. Les déchirures, pour la plupart très faibles, avaient suivi de préférence les génératrices du corps cylindrique.	»	Les causes de l'explosion n'ont pas été entièrement élucidées. Il y a lieu toutefois de remarquer la mauvaise qualité des tôles et l'amincissement de la partie inférieure du corps de chaudière.
17 août	Battage des grains à Prat (Côtes du-Nord).	Chaudière locomobile horizontale tubulaire à flamme directe, avec foyer intérieur de mauvaise forme (section ovale). Surface de chauffe, 3 mètres carrés. Capacité, 0 ^m 3,297. Construction en 1870. Dernière épreuve en 1889 au timbre de 6 ^k ,5. Le ciel du foyer était déformé, par suite d'un coup de feu antérieur produit par un manque d'eau.	La locomobile, ayant pour chauffeur le fils de l'entrepreneur de battage, était allumée depuis un peu moins d'une demi-heure, lorsque ce jeune homme fit remarquer à son père que le manomètre ne marquait que 4 kg., malgré qu'il poussât le feu; les soupapes crachaient. Le père vit alors que le robinet du manomètre était en partie fermé, l'ouvrit, et l'aiguille de cet instrument, gradué jusqu'à 8 ^k ,5, alla buter à fond de course, au point d'imprimer la marque de sa pointe dans le laiton de la boîte. Par une déplorable aberration, l'on ferma alors la prise de vapeur de la machine. Aussitôt le ciel de foyer s'éccasa, en se déchirant suivant deux lignes transversales. Il a été reconnu que ce ciel de foyer était bleu, et le tube indicateur en verre ébranglé du haut.	Le chauffeur tué sur le coup, un autre ouvrier brûlé grièvement, un troisième blessé d'une manière insignifiante.	Excès de pression, agissant d'ailleurs sur un foyer de forme vicieuse et peut-être surechauffé.
24 août	Fabrique de cartons, à Senlis (Oise).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, cubant 8 ^m 3,115 et timbrée à 6 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur avec sifflet d'alarme, mais dont le sifflet ne fonctionnait pas. — Le robinet placé sur le tuyau d'aspiration de la	Déchirure au coup de feu du bouilleur de droite, sur 1 ^m ,35 de longueur. Après l'explosion, la tôle de cette partie était décapée de son tarte et présentait de larges taches bleues; les rivures des communications du bouilleur avec le corps cylindrique étaient	Le chauffeur brûlé mortellement.	Surchauffe consécutive à une insuffisance d'alimentation. Cette insuffisance paraît avoir elle-même eu pour cause l'encrassement du robinet placé sur

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
24 août (suite).	Fabrique de cartons, à Senlis (Oise) (suite).	pompe alimentaire était presque complètement encrassé; la partie commune aux lumières de la clef et du boisseau n'avait plus que 3 millim. sur 10 à peine, au lieu de 18 sur 42. Il est avéré que précédemment à l'accident, le chauffeur avait signalé au contre-maître que la pompe alimentaire « ne rapportait plus assez. »	ébranlées, ainsi que le bas des rivures circulaires de l'arrière du corps cylindrique; l'autre bouilleur était aux deux tiers vide d'eau. Presque aucun dégât matériel.		le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire.
13 sept.	Mines de houille, à Anzin (Nord).	Chaudière horizontale à flammes renversées. Corps supérieur de 1 ^m ,35 de diamètre et 13 mètr. de longueur; corps inférieur de 1 mètr. de diamètre. Capacité, 27 ^m 3,3. Timbre, 5 kg. Les indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur Lethuillier-Pinel. Ce générateur fait partie d'une batterie de cinq chaudières semblables, sur lesquelles on dirige successivement l'alimentation fournie par une pompe spéciale. L'obstruction des tubes de verre n'y était pas une rareté, l'eau d'alimentation étant sujette à contenir en suspension de fines particules d'argile. Cette batterie avait été dispensée des clapets automatiques d'arrêt de vapeur.	Moins de quatre heures après une tournée du mécanicien chef de poste, qui déclare avoir vu le tube de verre marquer bon niveau d'eau, le chauffeur, purgeant ce tube, s'aperçut d'une situation anormale; il en fit avertir le mécanicien; celui-ci, qui avait reçu le signal de remonter une cage d'hommes, effectua cette manœuvre avant de se rendre à la chaufferie; la manœuvre s'achevait, lorsque la virole avant du corps supérieur de la chaudière s'ouvrit au coup de feu sur 3 mètres de longueur et se sépara du reste suivant sa rivure circulaire d'arrière. La tôle était bleue jusqu'à la naissance des carneaux; les communications étaient bleues au si sur 0 ^m ,15 de longueur. Dégâts matériels prouvant qu'une violente bouffée de pression s'est produite. Après l'explosion, le mécanicien et un autre homme allèrent fermer à tâtons, au milieu des jets de vapeur, les vannes des autres chaudières.	Le chauffeur brûlé mortellement.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau. L'origine de celui-ci n'a pu être déterminée, mais se rattache vraisemblablement à une obstruction du tube de verre.
17 sept.	Battage des grains à Héric (Loire-Inférieure).	Chaudière locomobile horizontale tubulaire à flamme directe, avec foyer intérieur de mauvaise forme (section ovale, genre de diamètre dans le sens horizontal et 0 ^m ,32 dans le sens vertical). Surface de chauffe, 22 ^m 87. Capacité, 0 ^m 3,260. Construction en 1868. Timbre, 6 kg. Date probable de la dernière épreuve, 1 ^{er} juillet 1884. Le ciel de foyer était déformé par suite d'un coup de feu ancien, à la suite duquel on avait appliqué contre la face inférieure de la tôle une contre-plaque circulaire de 0 ^m ,11 de diamètre, avec interposition de plomb pour faire joint; la contre-plaque était tenue par un boulon, une contre-plaque supérieure et un écrou. Cette chaudière, après avoir été mise de côté pendant 3 ou 4 ans, venait d'être vendue à un entrepreneur de battage, qui, trouvant trop coûteux d'en remplacer le foyer, prit le parti de l'employer telle quelle, après avoir seulement fait refaire le joint en plomb.	La locomobile était en fonctionnement depuis peu, ayant pour chauffeur le fils de l'entrepreneur de battage, qui, après avoir eût une seule leçon de	Le chauffeur a été grièvement brûlé par le jet de vapeur issu du foyer.	L'avarie s'est produite sur un appareil dont le foyer avait une mauvaise forme et était en
1 ^{er} oct.	Manufacture de tapis, à Tourcoing (Nord).	Tambour sécheur où la vapeur ne circulait que dans l'intervalle compris entre deux cylindres concentriques, l'un en fonte de 0,79 de diamètre extérieur, l'autre en tôle de cuivre de 0 ^m ,90 de diamètre. Longueur, environ 1 ^m ,40. Capacité pour la vapeur, environ 0 ^m 3,200. La tôle de cuivre, de 3 ^m ,4 d'épaisseur, était réunie à elle-même par brasure le long d'une génératrice, et assemblée à chacune de ses extrémités avec une nervure circulaire du cylindre de fonte au moyen d'une frette posée à chaud et d'un matage en hout. Cet appareil, construit et timbré à 6 kg en 1874, mais non réépruvé depuis lors, recevait, depuis mars 1894, la vapeur d'une chaudière timbrée à 8 kg. sans interposition de soupape. Sa purge aurait dû se faire grâce à un relèvement de l'eau par gouttières intérieures jusqu'à un tuyau d'extraction partant de l'axe et pourvu d'un robinet dont on réglait l'ouverture à la main; mais elle se faisait mal ainsi et il fallait ouvrir de temps à autre un robinet purgeur placé sur un des fonds.	Une fuite s'étant déclarée à la brasure longitudinale de la virole de cuivre, on appliqua de la soudure à l'étain sur la partie malade; celle-ci ayant recommencé à fuir au bout de quelques jours, on recourut de nouveau au même expédient. Le surlendemain, ouverture en grand du cylindre, le cuivre se déclarant d'une part sensiblement suivant la brasure, d'autre part le long des frettes terminales. Il y avait, dans la partie correspondant au placage de soudure à l'étain, deux cassures anciennes de 60 et 30 millim. de longueur, et une cassure ancienne de 35 millim. de longueur le long d'une des frettes.	L'ouvrier préposé à la conduite de l'appareil a été grièvement brûlé.	mauvais état; mais la cause de l'accident a dû être une surchauffe consécutive à un manque d'eau.

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
20 oct.	Drague, dans le port d'Aiguesmortes (Gard).	Chaudière horizontale à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire amovibles, dont le foyer a 0 ^m ,40 de diamètre et 2 mètres environ de longueur. L'alimentation se faisant à l'eau de mer, et le nettoyage de la chaudière n'ayant pas été effectué depuis un mois, le ciel du foyer portait une couche de sel de 9 millim. d'épaisseur.	Déchirure du ciel du foyer, consécutive à la formation, par étirement du métal, d'une poche ovoïde de 0 ^m ,40 de long, 0 ^m ,20 de large et 0 ^m ,12 de profondeur.	"	Surchauffe provenant d'une accumulation de dépôt salin sur la tôle du foyer.
22 oct.	Distillerie locomobile, à Issoudun (Indre).	Vase à distiller les mares, de 0 ^m ,55 de diamètre et 1 ^m ,25 de hauteur (capacité, 0 ^m 3,328), dont le couvercle était formé d'une feuille de cuivre de 1 ^m ,25 d'épaisseur, emboutie en calotte, et d'une couronne périphérique en fonte de 19 millim. d'épaisseur, portant quatre oreilles saillantes pour recevoir les boulons articulés qui maintenaient la fermeture. Ce vase, et deux autres pareils étaient montés sur un même chariot, ainsi qu'une chaudière timbrée à 6 kg. Chacun d'eux pouvait recevoir la vapeur directement de la chaudière par un tuyau de 0 ^m ,03 de diamètre; d'autre part la sortie de vapeur alcoolique, greffée latéralement à 0 ^m ,07 au-dessous du sommet du vase et pourvue d'une grille pour empêcher les entrainements de marc, portait un robinet à trois voies qui permettait d'envoyer cette vapeur, soit dans un autre vase, soit dans un tuyau abducteur de 0 ^m ,04 de diamètre et environ 5 mètres de développement, aboutissant à un rectificateur, suivi lui-même d'un serpentin condenseur. Enfin pour une troisième section du robinet à	L'appareil avait été mis en service le mois précédent à l'état neuf. Quand la pression à la chaudière atteignait 2 ^{kg} ,5, des fuites se montraient aux rivures et aux joints des couvercles. Enfin à l'un des vases (qui recevait la vapeur directement de la chaudière et envoyait directement sa vapeur alcoolique au rectificateur et au serpentin) le couvercle fut projeté et alla retomber dans la cour d'une maison voisine, la couronne périphérique en fonte s'étant rompue suivant six sections. Les casurés paraissaient anciennes.	"	Excès de pression causé en tout ou partie, soit par une obstruction provenant de l'entraînement du marc, soit par l'insuffisance de diamètre des tuyaux abducteurs de la vapeur alcoolique.
29 nov.	Usine de location de force motrice, à Paris.	trois voies, toute issue était fermée. Les vases distillatoires n'étaient pas timbrés. Chaudière horizontale à deux bouilleurs, de 46 m. carrés de surface de chauffe, 13 ^m 3,4 de capacité, timbrée à 6 kg. Chacun des bouilleurs, de 0 ^m ,70 de diamètre et 7 ^m ,55 de longueur, communiquait avec le corps cylindrique par trois communications qui n'avaient chacune pour section libre, à son débouché dans la chaudière, qu'un orifice mesurant 0 ^m ,15 sur 0 ^m ,065; encore, pour la communication du milieu, cet orifice était-il à demi obstrué par le tuyau d'alimentation plongeant dans le bouilleur. Appareil d'âge inconnu, auquel on faisait vaporiser, vraisemblablement, environ 18 kg. d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Les indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur à levier.	Déchirure au côté droit du bouilleur de gauche, suivant une génératrice située à 0 ^m ,20 au-dessous de la clojure latérale. Déformation peu accentuée, intéressant une région de 0 ^m ,40 de largeur environ; les lèvres ne s'étaient pas écartées de plus de 0 ^m ,05 ou 0 ^m ,06. On a observé des traces de surchauffe (bleuissement) au voisinage de la déchirure, et aussi, à un degré moindre, de l'autre côté du bouilleur et à même hauteur. Le fond hémisphérique arrière du corps principal était notablement et assez généralement oxydé en rouge. Aucun dégât matériel; après l'explosion on vit encore du feu sur la grille.	Le chauffeur brûlé mortellement.	L'explosion a été, selon les vraisemblances, la conséquence d'une surchauffe consécutive à un manque d'eau. Il convient d'ailleurs d'observer que la chaudière offrait une disposition vicieuse, consistant dans l'étroitesse extrême des communications des bouilleurs avec le corps cylindrique.
24 nov.	Distillerie locomobile, à Sainte-Lizaigne (Indre).	Même appareil que le 22 octobre, dont le couvercle avait été remplacé.	La pression à la chaudière était d'environ 1 ^{kg} ,5, et la distillation commençait, lorsqu'on vit d'abord un jet de vapeur sortir à l'extrémité du serpentin, puis ce jet cessa, et le couvercle du vase à distiller fut de nouveau projeté à 50 mètres de distance.	"	Comme pour l'accident du 22 octobre.
4 déc.	Stéarinerie, à Saint-Aubin-Jouxte-Boulleng (Seine-Inférieure).	Récipient cylindrique à fonds hémisphériques, de 1 mètre de diamètre et 3 ^m ,10 de hauteur totale, construit tout en cuivre, avec rivures doubles. Ce récipient servait à la saponification du suif par la chaux, sous l'action de la vapeur d'eau. Timbré à 11 kg., il datait de 1880; l'épaisseur primitive de ses parois était de 11 millim. Des fuites répétées le long de la clojure verticale avaient éraillé dans la tôle, à l'extérieur, un sillon de corrosion profond.	Le récipient s'est déchiré sur 1 ^m ,20 de hauteur, le long du sillon de corrosion, et s'est ouvert largement. Les dégâts matériels ont été importants.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Sillon de corrosion profond, produit le long de la rivure longitudinale de l'appareil par les fuites répétées qui se sont déclarées à cette rivure.

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
10 déc.	Station d'électricité, à Bordeaux, (Gironde).	Chaudière à petits éléments, d'un ancien type Davey Paxman, composé de serpentins vaporisateurs au sommet desquels la vapeur devait se dégager par des cols de cygne étroits et l'eau retomber dans un barillet placé plus bas. A cette chaudière avait été adjoint un appareil dit émulseur, composé de deux capacités superposées et reliées l'une à l'autre par un faisceau de tubes plongeurs ouverts aux deux bouts et terminés en sifflet par le bas. La prise de vapeur primitive de la chaudière était reliée au sommet de la capacité inférieure; de la base de chacune des deux capacités partait un tuyau de retour d'eau allant au générateur. C'est la capacité supérieure de l'émulseur qui portait la prise de vapeur, le débouché de l'alimentation et deux tubes indicateurs du niveau de l'eau. Ces derniers prenaient l'eau derrière un barrage qui s'élevait à 0 ^m ,08 au-dessus de leur bague inférieure, de sorte qu'ils devaient nécessairement continuer à montrer de l'eau quand le générateur et l'émulseur lui-même en manqueraient.	Depuis la mise en service de l'émulseur, l'appareil avait donné lieu à des phénomènes anormaux, d'apparence capricieuse. En outre, lors de l'accident, le chauffeur ayant quitté son poste, avait été remplacé par un homme inexpérimenté. Un tube de coup de feu, dont la soudure était tournée vers le bas, s'ouvrit le long de cet orifice, sur 0 ^m ,35 de longueur, avec bûillement de 0 ^m ,13. Ce tube était incliné vers le haut, ainsi que ses deux voisins; il portait des traces de surchauffe. Il a été reconnu que 1/5 ^e des tubes reliant les deux capacités de l'émulseur s'étaient dessoudés d'avec la cloison séparative et étaient tombés au fond de la capacité inférieure.	Le chauffeur a été brûlé d'une manière très légère (2 jours seulement d'interruption de travail).	Conséquences de vices multiples, par suite desquels, notamment, la hauteur d'eau observée dans les tubes de verre du corps supérieur de l'appareil était susceptible de tromper le chauffeur, et la circulation dans le faisceau des tubes vaporisateurs était rendue problématique.

26 déc.	Usine de teinturerie et apprêts d'étoffes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, à laquelle était adjoint un bouilleur réchauffeur qui aurait dû lui être relié par une double communication: l'une pour l'eau, plongeante de part et d'autre, l'autre pour la vapeur, reliant le sommet du réchauffeur au dôme de la chaudière. Mais, ainsi qu'on s'en est aperçu après coup, la première était bouchée par le tartre et l'eau ne pouvait passer du réchauffeur à la chaudière que par la seconde. Les indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur magnétique sans sifflet. Le tube de verre était relié au générateur par des tuyaux étroits et longs: 1 ^m ,65 de longueur pour la communication d'eau, qui partait du bouilleur de gauche; 3 ^m ,20 pour celle de vapeur, greffée sur le dôme.	Déchirure du bouilleur de gauche, suivant la génératrice inférieure de la première virole, sur 0 ^m ,80 de longueur, avec 0 ^m ,11 de bûillement. Aucun effet dynamique; peu de bruit. La tôle était bleuie sur une largeur de 0 ^m ,15 ou 0 ^m ,20 autour de la déchirure; au delà se trouvait une auréole d'oxyde rouge. On voyait sur les parois du bouilleur, à différentes hauteurs, des lignes horizontales saillantes formées par les dépôts et accusant les stades de l'évaporation progressive. Néanmoins, le tube de verre avait montré de l'eau, mais avec des oscillations et des apparences anormales, dont le chauffeur n'avait pas compris la signification.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau, dont les causes ont été la mauvaise disposition des communications du tube indicateur du niveau de l'eau avec la chaudière, l'usage insuffisamment intelligent et insuffisamment complet des appareils indicateurs du niveau de l'eau et, vraisemblablement, comme cause première, l'obstruction par les dépôts de la fourche d'alimentation, à la suite de laquelle il ne restait entre le réchauffeur et la chaudière qu'une communication défectueuse.	
29 déc.	Bateau remorqueur, à Suresnes (Seine)	Chaudière à petits éléments, système Babcock et Wilcox, comprenant 49 faisceaux de 4 petits tubes bouilleurs: chacun de ceux-ci a 33 millim. de diamètre intérieur, 2 ^m ,14 de longueur et 2 ^m m,5 d'épaisseur. Timbre, 11 kg. Un tube bouilleur, ayant fui, avait été tamponné à ses extrémités au moyen de tampons de bois, au cours d'un voyage à destination de Paris. Le voyage achevé, le bateau avait fait escale, puis était reparti sans qu'aucune réparation eût été faite.	Le tube tamponné, n'étant plus rafraîchi par l'eau, s'était surchauffé et rongé dans sa région milieu, au point de disparaître entièrement sur 0 ^m ,75 de longueur; il n'en restait que les bouts. D'autre part, les tampons de bois se carbonisant, avaient voyagé le long des tronçons restants, et finalement le tampon du tronçon arrière a filé hors du tube dans l'intérieur du foyer, et la porte de celui-ci, dépourvue de loquet, s'est ouverte et a livré passage au flux brillant d'eau et de vapeur	Quatre hommes brûlés légèrement.	Incurie dans l'entretien de la chaudière, qui avait été maintenue en service avec un tube tamponné par des tampons de bois, de telle sorte que le tube s'était surchauffé et rongé par l'effet de cette surchauffe, a livré passage à l'un des tampons.

RÉSUMÉ

RÉPARTITION DES ACCIDENTS

DÉSIGNATION	NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
I. — Par nature d'établissements :			
Mines. Mines de houille.	2	1	"
Usines métallurgiques. Hauts fourneaux et forges.	3	"	"
Agriculture. Ateliers de construction mécanique.	1	"	"
Industries alimentaires. Battage des grains.	4	1	3
Industries chimiques. Distilleries.	3	"	"
Industries chimiques. Brasserie.	1	"	"
Industries chimiques. Huilerie.	1	2	2
Industries chimiques. Caoutchouc.	1	"	2
Industries chimiques. Stéarinerie.	1	"	1
Industries chimiques. Tissage de coton.	1	"	1
Tissus et vêtements. Blanchiment, teinturerie, apprêts.	4	"	1
Tissus et vêtements. Tapis.	1	"	1
Tissus et vêtements. Bonneterie.	1	"	"
Papeterie. Fabrique de papier.	1	"	"
Papeterie. Fabrique de cartons.	1	1	"
Papeterie. Élévation d'eau.	1	1	"
Entreprises de travaux et diverses. Lavoir.	1	3	4
Entreprises de travaux et diverses. Éclairage électrique.	3	"	2
Entreprises de travaux et diverses. Location de force motrice.	1	1	"
Chemins de fer.	1	"	1
Bateaux et engins flottants. Bateaux à vapeur.	3	2	"
Bateaux et engins flottants. Dragues et grues flottantes.	2	3	2
Totaux.	38	15	20
II. — Par espèce d'appareils :			
1° Chaudières chauffées en tout ou partie à l'extérieur :			
Horizontales non tubulaires. à foyer extérieur.	8	6	4
Horizontales non tubulaires. à foyer intérieur.	1	2	2
Horizontales plus ou moins tubulaires, à foyer extérieur.	2	"	"
A petits éléments.	7	"	2
2° Chaudières non chauffées à l'extérieur :			
Horizontales tubulaires. à flamme directe.	4	1	3
Horizontales tubulaires. à retour de flamme.	4	2	1
Verticales.	2	3	2
3° Annexes des chaudières :			
Réchauffeur.	1	1	"
4° Récipients			
	9	"	6
Totaux.	38	15	20

(*) Ayant eu plus de vingt jours d'incapacité de travail. Pour les blessures moins graves, voir le bulletin détaillé, qui mentionne tous les blessés signalés par l'enquête administrative.

III. — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs.

1° Conditions défectueuses d'établissement :

Récipients exposés à des pressions trop fortes eu égard à leur résistance.	4	} 13
Mauvais assemblages de cylindres en cuivre avec des fonds en fonte.	2	
Forme vicieuse d'un couvercle en fonte.	1	
Chaudières à petits éléments où la circulation était mal assurée.	2	
Chaudières dont les tubes de verre étaient sujets à devenir trompeurs.	2	
Insuffisance de la qualité d'une tôle de chaudière et médiocrité de la construction.	1	
Excès de pression hydraulique dans un réchauffeur dont la communication avec la chaudière s'obstruait par la précipitation des dépôts.	1	

2° Conditions défectueuses d'entretien :

Corrosions.	} 3	} 11
intérieures.		
extérieures.	1	} 11
Mauvais état de chaudières d'âge ancien.	2	
Usure de tubes à fumée.	2	} 11
Déformation par suite d'un coup de feu antérieur.	1	
Chaudière à petits éléments maintenue en service avec un tube bouilleur tamponné par des tampons de bois.	1	} 1
Réparation vicieuse d'une brasure fuyante.	1	

3° Mauvais emploi des appareils :

Surchauffe par manque d'eau.	11	} 15
Surchauffe par l'effet des dépôts ou des matières grasses.	3	
Excès de pression.	1	

4° Causes non précisées :

Chaudière verticale dont les tôles étaient de mauvaise qualité et amincies au bas du corps cylindrique.	1	} 4
Tôle mal soudée, au coup de feu d'une chaudière chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer.	1	
Avarie ancienne d'origine incertaine à un tube à fumée.	1	
Probablement excès de pression.	1	

Total 43

REMARQUES. — (a) Le nombre total des causes présumées est ainsi égal à 43 pour 38 accidents, parce que, dans cinq cas, l'accident a été inscrit deux fois comme rapporté à deux causes, savoir : 1° chaudière à petits éléments où le tube de verre était sujet à devenir trompeur et où un entartrage avait altéré les indications de ce tube (8 février); 2° chaudière à petits éléments où la circulation était mal assurée et où le tube bouilleur qui s'est surchauffé était entartré (27 avril); 3° ciel de foyer déformé par l'effet d'un coup de feu antérieur, et corrodé (30 juillet); 4° récipient exposé à des pressions trop fortes eu égard à sa résistance, et dont une brasure fuyante avait été mal réparée (1^{er} octobre); 5° chaudière à petits éléments dont la circulation était mal assurée et dont le tube de verre était sujet à devenir trompeur (10 décembre).

(b) Parmi les causes des manques d'eau, figurent la mauvaise disposition des tubes de verre, l'encrassement de leur communication inférieure avec la chaudière, leur défaut de consultation judicieuse, les étranglements causés par les dépôts dans les chaudières à petits éléments, leur surmenage, la négligence d'entretien de leurs appareils annexes, le mauvais état de la pompe alimentaire, l'encrassement du robinet d'aspiration de celle-ci, celui des conduits d'alimentation.

(c) En outre des accidents résumés ci-dessus, il y a lieu de signaler à l'attention des usagers de chaudières à vapeur une explosion qui s'est produite dans un foyer intérieur de chaudière, à bord d'un paquebot faisant route d'Alger à Marseille, le 10 juin 1894. Ce foyer, de forme cylindrique, était pourvu d'un autel composé d'une pièce en fonte servant de support à l'extrémité des barreaux de grille, et d'une tôle supportant des briques. Le dessous de cet autel constituait une capacité d'environ un tiers de mètre cube, à peu près complètement fermée par une porte destinée à empêcher les cendres d'y pénétrer. L'accident parait avoir consisté dans une explosion de gaz ou de poussières de charbon dans cette capacité chaude et presque close.

ÉTUDE

SUR LES

ACIERS PROPRES A LA CONSTRUCTION DES MACHINES

CONDITIONS DE RECETTE DE CES ACIERS

Par M. AUSCHER, Ingénieur de la marine.

I. — BUT DE CETTE ÉTUDE.

Nous résumerons dans cette étude les recherches que nous avons entreprises pour fixer les conditions que doit remplir l'acier destiné à la construction des machines.

Le caractère industriel de ces recherches, et les conclusions pratiques auxquelles nous avons été conduits, présenteront, nous l'espérons, quelque intérêt pour tous les constructeurs soucieux de perfectionner leur fabrication.

Nous n'avons pas eu l'intention de commenter les travaux très complets entrepris, dans ces dernières années, sur la structure intime des aciers, par des métallurgistes et des savants de divers pays. Ces travaux présentent un intérêt scientifique considérable ; mais il faut bien reconnaître qu'ils n'ont pas donné, jusqu'à présent, de résultats pratiques appréciables.

Il suffit, pour s'en convaincre, de constater la diversité, voir les contradictions qu'on relève dans les conditions de recette imposées aux aciéries par la marine, par l'artil-

lerie, par les compagnies de chemin de fer. Cette variété d'exigences, bien propre à dérouter constructeurs et fournisseurs, montre bien combien la question est peu avancée et quel intérêt s'attache à apporter dans les cahiers des charges plus de clarté, et, partant, plus de simplicité.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons effectué nos recherches. Les conditions de recette que nous avons établies, à la suite de nombreuses expériences faites par nous-mêmes à l'établissement d'Indret, ou provoquées par nous dans les grandes usines métallurgiques, en particulier au Creusot et à Saint-Chamond, ont reçu aujourd'hui la sanction d'une expérience de deux années. Nous les avons introduites, avec l'autorisation du ministre de la marine, dans tous les marchés de pièces forgées ou laminées, passés par Indret pour ses machines les plus récentes.

II. — QUALITÉS A DEMANDER AU MÉTAL-MACHINE.

Les qualités primordiales à exiger du métal-machine sont :

- La résistance,
- L'indéformabilité,
- La non-fragilité.

La première fixe les dimensions absolues des organes.

La deuxième assure la précision de leurs mouvements géométriques.

La troisième est nécessaire pour prévenir la rupture sous l'influence d'efforts dynamiques accidentels.

Un bon métal-machine devra réunir simultanément ces propriétés, dans les limites où elles n'empêchent pas le métal d'être façonné et mis en œuvre dans des conditions industrielles suffisamment économiques.

Le problème ainsi posé est-il susceptible d'une solution satisfaisante?

A la vérité, c'est une opinion qui a longtemps prévalu et que nombre de métallurgistes défendent encore, que ces qualités sont en quelque sorte, inconciliables, et c'est ce qui explique l'exclusion dont on a généralement frappé tous les aciers autres que l'acier dit *doux*, caractérisé par une charge de rupture de 40 kilogrammes et un allongement de 25 p. 100 environ.

Sans doute ce métal est peu résistant et aisément déformable; mais ces concessions étaient jugées nécessaires pour réaliser ce qu'on appelait et ce qu'on appelle encore un *bel allongement*, considéré comme la meilleure garantie de non-fragilité.

Cependant la corrélation qu'on a voulu établir entre l'allongement et la fragilité n'est guère justifiée, ainsi que nous l'avons établi d'une manière concluante par l'emploi d'une méthode expérimentale rationnelle, permettant d'apprécier et de classer les divers métaux sous le rapport de leur fragilité.

Nous avons reconnu ainsi :

1° Que l'acier, à l'état naturel, est relativement fragile, quelle que soit sa teneur en carbone, c'est-à-dire que l'acier doux ou extra-doux, à grand allongement, n'offre pas, à ce point de vue, sensiblement plus de garanties que les aciers de 50 à 60 kilogrammes, à faible allongement;

2° Qu'il est facile, par un traitement approprié, de supprimer toute trace de fragilité, tout en augmentant dans des proportions très notables la charge de rupture, et surtout la limite élastique.

Ce traitement a d'ailleurs pour effet de réduire l'allongement et cependant le métal ainsi modifié reste, sous tous les rapports, bien supérieur à l'acier initial. Disons de suite que ce traitement n'a rien de nouveau en lui-

même. C'est à très peu près celui que l'artillerie emploie depuis longtemps pour le *métal à canon*. Il consiste à soumettre la pièce à deux trempes successives, l'une au rouge cerise clair, l'autre au rouge sombre. La première trempe a pour effet caractéristique de déterminer la *transformation du grain*, la deuxième ramène la dureté à la limite voulue et supprime toute trace de fragilité.

La première opération constitue la trempe proprement dite; la seconde est à proprement parler un *recuit*.

Nous ne nous étendons pas plus longuement sur ces procédés, bien connus dans toutes les usines qui s'occupent de la fabrication des canons. Ce que nous voulons faire ressortir, c'est l'intérêt capital qu'offre ce mode de transformation, alors même qu'il s'agit d'un acier initial sensiblement plus doux que l'acier à canon, ce qui est le cas du métal généralement employé à la confection des pièces de machines.

Il n'est guère possible d'indiquer d'une manière ferme les résultats de cette transformation, car les effets produits dépendent, dans une assez large mesure, de la dureté initiale de l'acier, du corroyage donné au lingot, de l'étirage du bloom, de la grosseur et de la forme des pièces à tremper, ainsi que des circonstances particulières de l'opération de trempe (température des fours, température et nature du bain, etc.), circonstances que l'opérateur peut modifier à son gré pour réaliser une modification de texture ou une dureté finale plus ou moins accentuées.

En général, et pour des pièces de dimensions moyennes, il est possible de doubler la limite élastique, tout en réalisant une transformation suffisante pour supprimer toute fragilité.

Examinons maintenant les moyens de *traduire en chiffres* les propriétés qu'il importe essentiellement de

connaître et de définir, pour fixer la valeur pratique du métal-machine, savoir :

- La résistance,
- La fragilité,
- La déformabilité.

III. — RÉSISTANCE DU MÉTAL.

Il existe aujourd'hui plusieurs appareils parfaitement étudiés pour la mesure de la résistance à la rupture.

Nous nous sommes exclusivement servis à Indret de la machine Thomasset, à colonne manométrique, indiquant à chaque instant l'effort de traction exercé sur la barrette.

Il nous a paru peu rationnel de définir la valeur de ces essais par le chiffre de la charge de rupture et nous nous sommes attachés à mesurer aussi exactement que possible la *limite élastique*. C'est, en effet, ce dernier chiffre, beaucoup plus que la charge de rupture, qu'il importe de connaître, pour la détermination judicieuse des dimensions à donner aux organes des machines.

On peut saisir, avec assez d'approximation, le moment où la limite élastique est atteinte en suivant attentivement le mouvement ascensionnel de la colonne manométrique et en observant le changement brusque qui s'y produit à cet instant. Mais il est évidemment préférable de recourir à un enregistreur. C'est ce que nous avons fait. L'appareil dont nous nous sommes servis a été construit par MM. Richard frères de Paris; il est établi comme les autres instruments enregistreurs qui sortent de cette maison et dont la plupart sont bien connus.

L'appareil s'adapte sans difficulté à la machine Thomasset; il fournit, bien entendu, non seulement la limite élastique, mais la loi complète du phénomène, traduite

en courbe donnant en abscisses et en ordonnées les allongements et les charges.

Des spécimens de ces courbes sont reproduits sur une planche jointe à cette étude.

Elles mettent en évidence l'influence de la double trempe sur des aciers de diverses provenances :

Augmentation de la limite élastique	L
— de la charge de rupture	R
— du rapport	$\frac{L}{R}$
Diminution de l'allongement.	

Ces courbes se rapportent à des barrettes naturelles et trempées, prélevées à froid dans des blooms et dans des pièces en acier moulé.

IV. — FRAGILITÉ.

La mesure de la fragilité des métaux présentait plus de difficultés, car aucune des méthodes en usage, pour apprécier la *résistance au choc*, ne permettait de traduire cette propriété d'une manière précise.

Examinons, en particulier, les conditions d'essai de la marine. Nous voyons, dans cet ordre d'idées, deux sortes d'épreuves.

1° *Des essais de choc* dans lesquels des barrettes placées entre couteaux sont soumises, dans des conditions déterminées, au choc d'un mouton tombant d'une hauteur croissante ou constante suivant les cas.

2° *Des essais de trempe* dans lesquels des barrettes trempées au rouge cerise dans de l'eau à 28°, doivent supporter, sans trace de rupture, le pliage à plat, sous l'action de la presse.

1° *Essais de choc.*

Nous trouvons ces essais dans les marchés suivants passés par la marine : blooms en acier mi-dur (Saint-Chamond); barres hexagonales en acier mi-dur (forges de Basse-Indre); marchés divers de pièces en acier moulé.

Blooms et barres hexagonales en acier mi-dur. — Les barrettes d'essais ont 200 millimètres de longueur et sont rabotées à 30 sur 30. Elles sont essayées dans les conditions suivantes :

Poids du mouton	18 ^k ,00
Hauteur de chute constante égale à	2 ^m ,75
Distance entre les couteaux	0 ,16
Saillie des couteaux	0 ,05
Poids de l'enclume	350 ^k ,00
Point d'impact au milieu de la ligne qui joint les arêtes des couteaux.	

Pour les blooms, aucune barrette reconnue saine ne devra se rompre avant le quinzième coup.

Pour les barres, la rupture ne devra pas se produire, pour plus de la moitié des barreaux avant le quinzième coup.

Il s'agit dans l'un et l'autre cas, d'acier mi-dur caractérisé par une résistance à la rupture de 50 à 55 kilogrammes et un allongement de 20 p. 100.

Acier moulé. — Les barrettes de choc ont 200 millimètres de longueur et sont rabotées à 30 millimètres de côté. Elles sont soumises au choc d'un mouton de 18 kilogrammes tombant successivement d'une hauteur croissant de 5 en 5 centimètres à partir d'une hauteur initiale de 1 mètre.

Espacement des couteaux	0 ^m ,16
Poids de l'enclume	350 ^k ,00 au moins.

La moitié au moins des barrettes ne sera pas encore rompue quand la hauteur de chute aura atteint 1^m,50.

On remarquera que pour l'acier de bloom, toutes les barrettes reconnues saines doivent supporter avec succès les essais de choc; mais pour l'acier moulé, de même que pour l'acier laminé, il suffit que la moitié des barrettes essayées puisse subir l'épreuve sans se rompre.

On est donc conduit, pour ces deux qualités d'acier, à considérer comme également satisfaisants deux essais dans lesquels, toutes les barrettes d'une part, la moitié seulement d'autre part, auront résisté.

Par contre, tandis qu'un essai sur 2*n* barrettes sera jugé satisfaisant, si *n* barrettes résistent à l'épreuve, la fourniture sera rebutée, si *n*+1 barrettes ont cassé. D'un côté on assimile, au point de vue de la recette, des essais dont les résultats sont dans le rapport de 1 à 2. D'autre part, on différencie des essais dont les résultats sont presque identiques.

Acier doux. — Enfin pour les aciers doux et extra-doux en blooms ou en barres laminées, c'est-à-dire pour le métal le plus généralement employé pour les pièces de machines, les cahiers des charges exigent une résistance à la rupture de 39 à 45 kilogrammes pour l'acier doux et de 34 à 40 kilogrammes pour l'acier extra-doux, un allongement minimum de 23 p. 100 pour l'acier doux et de 25 p. 100 pour l'acier extra-doux. Mais aucune condition de choc n'est imposée. Sans doute ce métal inspirait à ce point de vue une confiance qu'on n'accordait pas aux nuances plus dures.

2° *Essais de pliage après trempe.*

Ces essais sont spécialement exigés pour l'acier doux. Si nous en parlons ici, c'est qu'on peut, jusqu'à un certain

point, considérer le pliage sans criqûre, comme une garantie d'homogénéité et par suite aussi de non-fragilité.

Mais cette épreuve présente de graves inconvénients, qui résultent des modifications de texture produites par la trempe. Les inconvénients de l'essai de trempe ont été signalés, pour la première fois, croyons-nous, par M. l'ingénieur de la marine Le Chatelier, en 1891, dans son *Étude sur les propriétés mécaniques du fer et de l'acier*.

Si la trempe est faite à trop basse température, l'effet produit est nul; si elle est faite à une température suffisante (vers 900°), le métal est modifié et susceptible de donner de bons résultats, alors même que l'acier initial serait de mauvaise qualité.

L'acier doux trempé est en effet bien supérieur à l'acier naturel, sans qu'il soit indispensable, comme pour les nuances plus dures, de faire suivre la première trempe d'un recuit ou d'une seconde trempe à basse température.

Dès lors, ces essais de trempe ne peuvent fournir aucune indication sur la valeur du métal initial.

Si l'on passe maintenant aux épreuves de choc imposées par l'artillerie ou par les compagnies de chemins de fer, on retrouve la même variété d'exigences (*).

A la vérité, toutes ces épreuves permettent, dans une certaine mesure, d'éliminer les aciers trop franchement cassants; mais aucune ne peut fournir un classement rationnel des aciers sous le rapport de la résistance au choc.

En un mot, ce sont des expériences *éliminatoires*, mais ce ne sont pas des *essais de mesure*. En fait, tous les

(*) Voir, à ce sujet, l'étude publiée dans les *Annales des mines* (année 1892, 9^e série, t. I^{er}), par M. l'ingénieur en chef Mussy. Note sur la diversité de qualité des métaux employés par les compagnies de chemins de fer dans leurs constructions.

aciers de qualité moyenne supportent ces épreuves, alors que leur fragilité est très grande, comparée à celle des métaux de choix.

V. — NOUVELLE MÉTHODE D'ESSAIS AU CHOC.

A tous ces procédés, nous avons cherché à substituer une méthode uniforme, simple, n'exigeant qu'un matériel élémentaire, et permettant de caractériser chaque essai par un chiffre unique.

Cette méthode consiste à encastrier la barrette d'essai par une de ses extrémités (au lieu de la placer entre couteaux) et à soumettre l'autre extrémité au choc d'un mouton tombant d'une certaine hauteur (*).

La barrette est préalablement entaillée sur les quatre faces dans la section d'encastrement.

Il existe, dans ces conditions, pour chaque qualité d'acier, une hauteur de chute minima, nécessaire et suffisante pour qu'un seul coup de mouton détermine la rupture de la barrette. Nous l'appellerons *hauteur de rupture*. La force vive correspondante est proportionnelle au carré de la vitesse et par suite à la hauteur de chute.

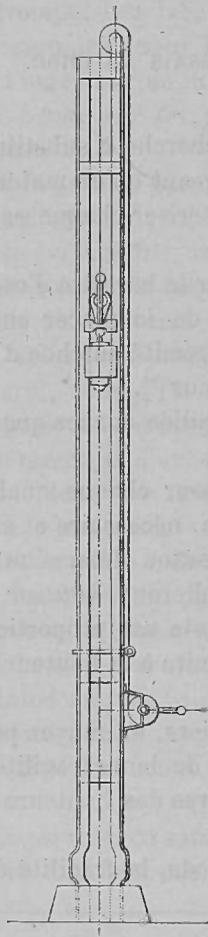
Il en résulte, pour les différents aciers, un moyen précis de les comparer sous le rapport de leurs fragilités; celles-ci sont, en effet, en raison inverse des hauteurs de rupture.

Pour mesurer, d'après cette méthode, la fragilité des

(*) L'idée première de ce procédé d'investigation nous a été suggérée, en 1892, par M. Barba, alors ingénieur en chef des usines du Creusot, qui a, depuis lors, fait également des expériences suivant les mêmes principes; les résultats en ont été communiqués à la Commission des méthodes d'essai.

Machine réglementaire à essayer les métaux au choc.
(Modèle de Ruelle.)

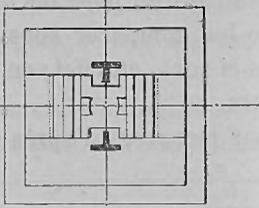
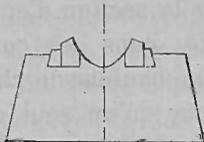
Échelle de 0,025.



Mouton.
Échelle de 0,05.



Enclume.
Échelle de 0,05.



différents aciers, nous avons découpé dans le métal des barres d'une certaine longueur et nous avons cherché

par tâtonnement la hauteur nécessaire pour rompre, avec un seul coup de mouton, une fraction déterminée de la barre, placée en porte-à-faux.

Il suffit pour cela de recommencer l'expérience un nombre suffisant de fois, en augmentant progressivement la hauteur de chute et en présentant chaque fois au mouton une nouvelle fraction de la barre d'essai.

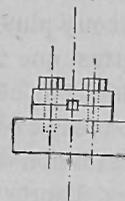
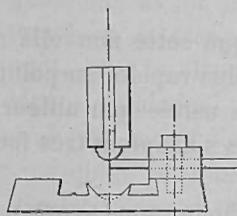
Nous avons adopté les conditions d'essai suivantes :

Dimensions de la bar-	rette encastrée . . .	Section carrée de	20/20
		Longueur du porte-à-faux.	100 ^{mm} .

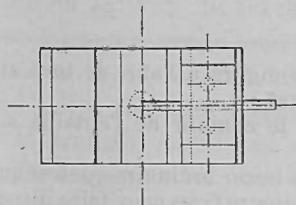
Adaptation de la machine de Ruelle aux nouveaux essais de choc.

Échelle de 0,05.

Disposition de la mâchoire.



Section de la barrette. . . 20/20^{mm}
Longueur en porte-à-faux. 100^{mm}



La barrette est entaillée sur les quatre côtés, dans la section d'encastement, à l'aide d'un burin spécial dont le taillant a exactement 1 millimètre de côté.

Poids du mouton. . . 48 kilogrammes.

Profil du mouton. . . Comme celui de l'artillerie à Ruelle.

Nous nous servons, pour toutes ces expériences, de

la machine réglementaire à essayer les métaux au choc, employée par l'artillerie, modifiée comme l'indique le dessin joint.

Cette modification, dont le simple examen du dessin rend compte, n'empêche pas la machine d'être utilisée à la manière ordinaire, avec barreaux d'essai placés entre couteaux.

Cette méthode comporte une opération qui peut paraître délicate, celle qui consiste à entailler la barrette, sur ses quatre faces, au burin.

Néanmoins, les résultats obtenus sur un grand nombre de barrettes provenant d'une même fourniture, sont assez concordants pour qu'il n'y ait pas à redouter des causes d'erreur à cet égard (*).

Il convient de remarquer que cette nouvelle méthode est beaucoup plus simple et plus rapide, au point de vue des recettes, que toutes celles usitées par ailleurs et que les machines de choc actuelles s'adaptent très facilement à ces nouveaux essais.

En possession de cette méthode, nous avons pu *classer* les aciers, d'après leurs fragilités respectives, et étudier, ensuite, l'influence de la trempe, du laminage, du corroyage, du recuit, etc.

(*) En fait, il suffit pour se mettre à l'abri de tout aléa de prendre les précautions suivantes :

- 1° Tracer avec une pointe le contour de l'entaille sur les quatre faces ;
- 2° Amorcer l'entaille avec un burin ordinaire quelconque ;
- 3° Limer légèrement sur les quatre faces pour faire disparaître les bavures ;
- 4° Terminer l'entaille avec le burin d'épreuve.

Ceci fait, s'assurer que le taillant épouse exactement l'entaille, la partie plate du burin s'appliquant sur la face du barreau. Vérifier, bien entendu, que le burin d'épreuve est bien calibré et le remplacer par un burin neuf si l'usure est appréciable.

Ces précautions, très importantes à ne pas perdre de vue, mais fort simples, en somme, suffisent pour obtenir des résultats remarquablement constants pour une qualité donnée d'acier.

VI. — DES EFFETS DU CORROYAGE.

Nous n'entrerons pas dans le détail des nombreux essais que nous avons effectués, et nous nous bornerons, dans cette étude sommaire, à en dégager la conclusion.

Nous dirons seulement quelques mots des effets du corroyage, parce que ce traitement peut avoir, dans certains cas, une influence considérable et comparable à celle de la trempe, quant à l'énergie des modifications apportées à la texture du métal.

C'est ainsi que des barrettes de choc, traitées par la méthode que nous avons indiquée plus haut, donnent des résultats bien différents, suivant qu'on les prélève dans le lingot, dans le bloom, ou dans la pièce de forge faite aux dépens du bloom.

En général, le métal forgé devient beaucoup plus homogène, ce qu'on reconnaît non seulement au grain, mais à la régularité des phénomènes d'allongement et de striction aux essais de traction. Par ailleurs, la résistance au choc est notablement augmentée.

Comme on le voit, le travail du forgeage contribue, dans une large mesure, à améliorer le métal, à la condition toutefois d'être conduit avec les précautions nécessaires et d'être toujours suivi d'un recuit à la température de la transformation du grain, c'est-à-dire entre 900 et 950 degrés.

Par contre, à mesure que le bloom demande plus d'éti-
rage pour être amené à la forme voulue, les chaudes sont plus nombreuses, et le travail exige plus de précautions pour éviter les coups de feu.

Aussi paraît-il difficile de formuler une règle précise à cet égard.

Ce qu'on peut dire, c'est que l'éti-
rage du bloom pourra

être réduit avec d'autant moins d'inconvénient que le bloom initial sera lui-même plus homogène, c'est-à-dire que le lingot d'origine aura été mieux corroyé.

VII. — DÉFORMABILITÉ.

L'installation, qui nous a servi pour la mesure de la fragilité, s'adapte aisément à la mesure de la déformabilité. Nous appellerons *raideur du métal* l'angle de pliage, après un seul coup de mouton, des barrettes placées en porte-à-faux, comme pour les épreuves de fragilité, mais avec une hauteur de chute constante et égale à 3^m,55, et sans que la section d'encastrement ait été entaillée.

La suppression de l'entaille change complètement la manière dont se comporte le métal. Dans ces conditions, la barrette ne casse plus, bien que la hauteur de chute ait été portée, dans ces essais, à 3^m,55, hauteur maxima disponible dans notre machine.

Elle fléchit plus ou moins suivant la raideur du métal.

L'utilité de cette nouvelle donnée se trouvait justifiée, non seulement par les considérations de principe précédemment exposées, mais surtout par les fréquentes avaries auxquelles a donné lieu, sur les machines marines, l'emploi de tiges de piston en acier trop mou.

Ces avaries ne se sont pas reproduites sur les machines munies de tiges en acier trempé.

VIII. — RÉSUMÉ DE NOS ESSAIS.

Dans toutes nos expériences, les barrettes, destinées à être trempées, ont toujours été prélevées dans le lot d'origine, à côté des barreaux essayés à l'état naturel.

Comme bain de trempé, nous n'avons employé que l'eau, chauffée à une température de 70° environ.

Nous avons appelé *hauteur de rupture*, la hauteur minima, dont il faut faire tomber le mouton, dans l'essai au choc, pour déterminer la rupture après un seul coup. Pratiquement, on diminuera ce chiffre d'un tant p. 100, et la hauteur ainsi définie sera celle qu'il conviendra d'inscrire dans un cahier des charges, en spécifiant qu'un seul coup de mouton, donné dans ces conditions, *ne devra pas déterminer la rupture*.

C'est ce dernier chiffre que nous appelons *résistance au choc*. Ceci posé, nous allons rapidement passer en revue les résultats obtenus dans nos essais, en insistant plus spécialement sur les épreuves de choc et de raideur, les essais de traction n'ayant fait que confirmer des faits déjà connus.

Aciers forgés. — La marine utilise actuellement les nuances dites *douce* et *demi-dure*.

Dans une première série d'essais, nous avons opéré sur des barrettes prises à froid dans les blooms. Dans ces conditions, la trempé a donné en moyenne :

	DOUX		DEMI-DUR	
	naturel	trempé	naturel	trempé
Limite élastique	19 ^{kg} , 00	32 ^{kg} , 00	25 ^{kg} , 00	42 ^{kg} , 00
Résistance au choc	0 ^m , 20	2 ^m , 00	0 ^m , 20	1 ^m , 80
Angle de pliage	143° , 00	153° , 00	151° , 00	158° , 00

Dans une deuxième série d'essais, le bloom a été préalablement étiré et réduit aux deux tiers de sa section initiale.

L'influence de ce corroyage préalable est très accusée et l'acier, devenu plus homogène, résiste beaucoup mieux au choc; cette amélioration apparaît, du reste, au simple examen de la cassure des barrettes d'essai.

C'est dans les barrettes de choc que ces changements

de texture sont les mieux caractérisés et les plus faciles à reconnaître.

Le corroyage ne modifie pas sensiblement la charge de rupture et la limite élastique; mais il a une influence très marquée sur l'allongement et surtout sur la striction, qui se produisent d'une manière plus régulière d'une barrette à l'autre et prennent des valeurs beaucoup plus élevées.

C'est ainsi qu'on obtient :

Pour le métal mi-dur nontrempé	} Allongement 24 à 25 p. 100 au lieu de 13 à 16 Striction . . 70 à 80 p. 100 au lieu de 14 à 24

Avec l'acier doux, les résultats sont du même ordre. Quoi qu'il en soit, la double trempe est nécessaire, si l'on veut obtenir un métal donnant toute sécurité sous le rapport de la fragilité.

Elle est surtout indispensable pour les pièces de machines d'une certaine importance, dont le corroyage est toujours imparfait et dont l'homogénéité, après forgeage, laisse beaucoup à désirer.

Les pièces de cette nature, les arbres en particulier, sont d'une fragilité extrême, avant trempe, fragilité qui explique suffisamment les fréquentes ruptures d'arbres de machines de transports ou de paquebots; elle explique aussi pourquoi certaines compagnies (les Chargeurs réunis) ont voulu abandonner les arbres en acier et les remplacer par des arbres en fer qui ne cassent pas brusquement comme les premiers.

La double trempe, en supprimant cette fragilité, donne une complète sécurité.

Son influence est moins énergique sur les gros échantillons que sur les petits, ce qui s'explique facilement par les différences des vitesses de refroidissement; mais cette influence reste toujours considérable et l'augmen-

tation de limite élastique ne descend guère au-dessous des 50 p. 100 de sa valeur initiale.

La résistance au choc devient, dans tous les cas, supérieure à 3^m,55.

Aciers laminés. — Le laminage n'assure pas au métal une homogénéité comparable à celle du forgeage. Ces aciers sont en général très cassants; après trempe, ils bénéficient, comme le métal forgé, d'une augmentation notable de résistance au choc et de limite élastique.

Aciers moulés. — Leur fragilité est plus grande encore que celle des aciers laminés et la trempe offre les mêmes avantages :

Augmentation de limite élastique,
Diminution de la fragilité.

La fragilité de l'acier moulé à l'état naturel n'offre pas d'inconvénients majeurs, étant données les applications usuelles de ce métal; mais la nécessité de le tremper ne devra pas être perdue de vue, si on veut étendre les applications de ce métal et l'employer concurremment avec les aciers forgés, ce qui n'a rien d'improbable, étant donnés les progrès constants réalisés dans sa fabrication. Il est bien entendu qu'il y aurait aussi tout avantage à tremper les pièces moulées dont l'emploi est déjà courant aujourd'hui, sous réserve des aléas que l'opération peut présenter pour des moulages compliqués.

L'établissement d'Indret est d'ailleurs entré dans cette voie.

IX. — ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DE LA VALEUR PRATIQUE D'UN ACIER POUR PIÈCES DE MACHINES.

La *limite élastique*,
La *résistance au choc*,
La *raideur*

sont les données les plus importantes en pratique, en ce sens qu'on peut affirmer qu'un métal ayant une limite élastique élevée, de la raideur, et résistant bien au choc, donnera toute sécurité à l'emploi.

L'importance donnée à l'allongement, dans les essais de recette actuels, ne paraît pas justifiée.

Il suffit pour s'en convaincre de remarquer que les aciers trempés ont toujours moins d'allongement qu'à l'état naturel. La striction donnerait une notion plus exacte de la valeur du métal; mais le phénomène est assez irrégulier, et il ne semble pas qu'on puisse le faire intervenir dans les essais, autrement qu'à titre d'indication.

La *résistance au choc* nous paraît être, avec la limite élastique, la donnée la plus importante.

A ce point de vue, la méthode que nous avons employée à Indret, et que nous avons décrite en détails, fournirait des renseignements beaucoup moins vagues que les procédés réglementaires.

Elle offre l'avantage capital d'exprimer les faits par des chiffres, et permet dès lors de comparer clairement les divers aciers sous le rapport de leurs fragilités. Les essais de choc seraient en outre simplifiés, puisqu'il suffirait, pour chaque barreau, d'un seul coup de mouton, tombant d'une hauteur donnée, *imposée par le cahier des charges*.

La *raideur* est également un élément important, comme l'ont prouvé les avaries des tiges de piston en acier doux.

Elle dépend essentiellement de la dureté du métal et varie de 140 à 160 degrés, quand on passe des aciers les plus doux aux aciers d'une dureté de 80 kilogrammes environ.

L'emploi exclusif des aciers trempés donnera d'ailleurs toute sécurité sous le rapport de la raideur, sans qu'il

soit nécessaire de mesurer spécialement cet élément, comme nous l'avons fait dans nos expériences.

CONCLUSION.

Comme conclusion, nous dirons que l'établissement d'Indret, emploie aujourd'hui, d'une manière exclusive, l'acier trempé pour la construction des machines marines.

Aucune pièce de forge n'est ajustée sans avoir été soumise, au préalable, à la double trempe.

L'expérience a d'ailleurs prouvé que les craintes qu'on pouvait avoir pour les pièces de forme complexe, les bielles par exemple, n'étaient pas justifiées.

Les tapures sont faciles à éviter en prenant les précautions nécessaires; nous ajouterons que lorsqu'elles se produisent, ce qui est tout à fait exceptionnel, elles sont presque toujours l'indice de défauts préexistants, généralement de soufflures, aplaties par le forgeage, et qui s'ouvrent à la trempe.

L'acier doux trempé est maintenant le métal usuel de nos pièces de machines.

Dans certains cas pourtant, nous lui préférons l'*acier mi-dur trempé* qui offre les mêmes garanties de résistance au choc, avec une limite élastique et une raideur sensiblement plus grandes. C'est le cas des tiges de piston, auxquelles il y a intérêt à donner le plus de raideur possible; c'est aussi le cas des glissières, des chemises de tiroir, et d'une manière générale, des pièces destinées à résister au frottement et à l'usure. Cette résistance à l'usure est, en effet, d'autant plus grande que le métal est plus dur.

Il n'y aurait aucun inconvénient à généraliser l'emploi de ce dernier métal; mais il coûte, actuellement, sensi-

blement plus cher que l'acier doux et en dehors des cas particuliers dont nous venons de parler, nous ne l'employons que lorsque la question de réduction de poids prime toute autre considération.

Il y a intérêt à dégrossir largement les pièces, soit par le forgeage, soit par un façonnage préalable à la machine-outil, pour faciliter la pénétration de la trempe.

En général, le dégrossissage obtenu au pilon sera très suffisant. Toutefois, si les pièces doivent être forées, ce qui est le cas d'un grand nombre d'entre elles, il y a tout avantage à pratiquer le forage avant trempe.

Les boulons, écrous et prisonniers de toute dimension sont également trempés; dans ces conditions, ils résistent beaucoup mieux aux efforts de serrage, et ne se déforment pas sous l'action de la clé.

Enfin, la plus grande partie de nos pièces en acier moulé est également soumise à la double trempe, à l'exception des bâtis importants et des cylindres à vapeur.

Il en résulte une amélioration analogue, quoique moins accentuée que pour l'acier forgé, de la qualité du métal.

Ce traitement à un autre avantage qui nous a surtout déterminés à l'employer pour les pièces en acier moulé; c'est qu'il est beaucoup plus facile de reconnaître les fentes sur le métal chauffé, et d'éliminer ainsi, d'une manière plus certaine, les pièces ne présentant pas les garanties de solidité désirables.

L'établissement d'Indret possède aujourd'hui une installation de trempage complète, continuellement alimentée par les confections courantes de l'usine.

Cette installation a été établie, d'après nos indications, à la suite d'une mission effectuée dans les principales usines s'occupant de la fabrication et de la trempe des canons. Elle permet de tremper des pièces de toute grosseur, ne dépassant pas 6 mètres de longueur.

Les arbres d'hélices que nous ne pouvons traiter par

nos propres moyens, nous sont livrés forgés et trempés par des usines spéciales (Saint-Chamond et le Creuzot).

Nous indiquons ci-après les conditions de recette que nous imposons à ces usines :

« Les arbres seront en acier, trempés, puis recuits ou bien soumis à la double trempe. »

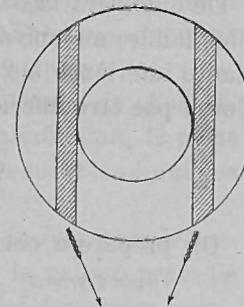
La recette technique se fera en usine, par les soins du service de la surveillance.

Chacun des arbres présentés en recette devra subir les épreuves suivantes, après trempe et recuit ou double trempe.

1° *Essai de traction.* — 2° *Essai de choc.*

A cet effet, il sera ménagé sur chaque pièce une partie de même diamètre que le corps de l'arbre, dans laquelle seront découpés, après le recuit final, les barreaux d'essai.

Ces barreaux seront tirés de deux plateaux disposés dans la section de l'arbre comme l'indique le croquis ci-contre.



Plateaux et barrettes seront découpés et travaillés uniquement à froid. La longueur des barrettes sera prise dans le sens de la longueur des arbres.

1° *Essai de traction.*

Sur chaque arbre, on prélèvera cinq barrettes de traction de 100 millimètres sur 13^{mm}, 8.

On écartera les barreaux présentant des défauts graves dans la cassure, tels que pailles, soufflures, etc., ou des défauts d'usinage, tels que coups d'outils, etc. Les bar-

reaux écartés seront remplacés par d'autres, pris dans les mêmes plateaux et si les nouveaux barreaux présentaient des défauts de cassure, pailles, soufflures, etc..., la pièce pourrait être rebutée. On essayera trois des barrettes et on notera pour chacune d'elles, la limite élastique et, à titre de simple renseignement, la charge de rupture et l'allongement correspondant.

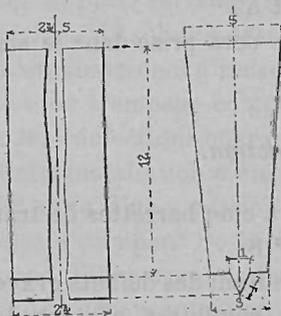
Aucune des trois barrettes ne devra avoir une limite élastique inférieure à 28 kilogrammes par millimètre carré et la moyenne des trois barrettes sera au moins de 30 kilogrammes.

Si l'une des trois barrettes donnait une limite élastique inférieure à 28 kilogrammes, ou si la moyenne était inférieure à 30 kilogrammes, on essaierait les deux barrettes restantes.

On éliminera la barrette donnant la limite élastique la plus faible; aucune des quatre autres ne devra avoir une limite inférieure à 28 kilogrammes et leur moyenne ne devra pas être inférieure à 30 kilogrammes.

2° Essai de choc.

On préparera cinq barreaux carrés de 20 millimètres de côté, découpés comme ceux



de traction. Ils seront disposés dans une mâchoire, de telle sorte que la partie excédente ait 100 millimètres de longueur et la partie encastree, 80 millimètres au minimum (conformément au plan communiqué par l'établissement au fournisseur et au service de la surveillance). Le barreau sera entaillé dans la section d'encastrement sur chacune de ses faces, au

moyen d'un burin dont le taillant présente une section triangulaire équilatérale de 1 millimètre de côté, parfaitement calibrée.

L'ensemble de la machine et du barreau est placé sur l'enclume de la machine réglementaire de Ruelle, de telle sorte que l'extrémité en porte-à-faux du barreau soit à l'aplomb de l'axe du mouton.

Poids du mouton 18 kilogrammes.

Aucun des trois barreaux ne devra casser sous un seul coup de mouton tombant d'une hauteur de 3 mètres.

Si un des trois barreaux cassait sous la hauteur de 3 mètres, on essaierait, dans les mêmes conditions, les deux barreaux restants qui devront subir l'épreuve avec succès.

A titre de renseignement, on pourra prélever quelques barrettes de traction sur la pièce avant trempe, pour se rendre compte de la nuance du métal employé.

Dans le cas où les épreuves de traction et de choc définies ci-dessus ne donneraient pas satisfaction, la pièce pourra être trempée et recuite de nouveau, et les épreuves recommencées (*).

L'adoption de nouvelles conditions de recette, permettant de fixer, d'une manière précise, la valeur pratique des matériaux des machines et l'emploi des aciers trempés, dont nous avons établi la grande supériorité sur les aciers naturels, constituent, croyons-nous, un progrès très important.

Déjà l'établissement d'Indret, qui, ainsi que nous l'avons dit, est franchement entré dans cette voie, a pu réaliser de sensibles diminutions d'échantillons, et s'efforce d'en réaliser de nouvelles, tout en augmentant les garanties de sécurité de ses machines.

(*) Ces conditions de recette ont été remplies et au delà par les usines.

Nous ajouterons que la nouvelle méthode de choc constitue un moyen d'investigation très simple, pour l'étude et pour la comparaison des aciers actuels avec les aciers spéciaux (au nickel, au silicium, etc...), que les aciéries produisent aujourd'hui et qui sont destinés peut-être à détrôner les premiers.

Nous nous sommes aussi servis avec fruit de cette même méthode de choc, pour l'étude des bronzes spéciaux à grande résistance, que la marine utilise pour la confection des tiges de pompes à air et des hélices.

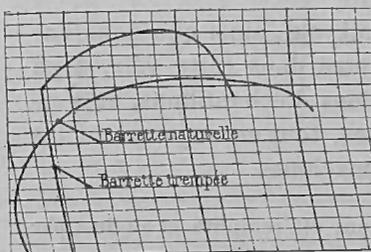
Mais les développements que comporte cette question sortiraient du cadre de cette étude.

Indret, juillet 1895.

COURBES OBTENUES AVEC L'ENREGISTREUR
DE MM. RICHARD FRÈRES.

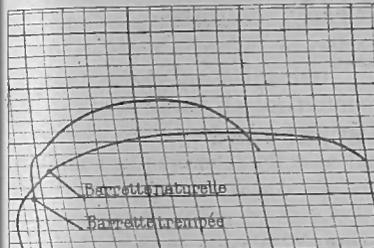
Échelle des abscisses ou allongements double grandeur. | Section des barrettes . 150^{mm}²
Échelle des ordonnées ou charges 2^{mm} pour 500^{kg}. . . | Longueur entre repères 100^{mm}.

Barrettes provenant d'un bloom en acier mi-dur.



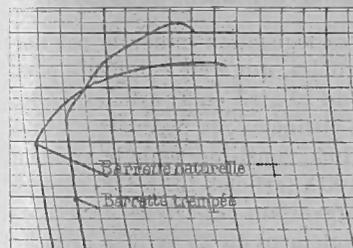
	MÉTAL naturel	MÉTAL trempé
Limite élastique L . .	23 ^{kg} ,00	50 ^{kg} ,00
Charge de rupture R. .	52 ,00	68 ,00
Rapport $\frac{L}{R}$	0 ,44	0 ,73
Allongement.	25 p. 100	15 p. 100

Barrettes provenant d'un bloom en acier doux.



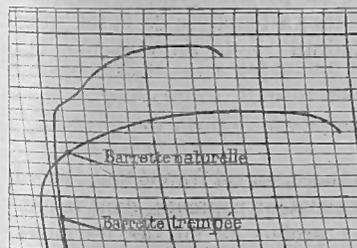
	MÉTAL naturel	MÉTAL trempé
Limite élastique L . .	15 ^{kg} ,00	30 ^{kg} ,00
Charge de rupture R. .	36 ,00	46 ,00
Rapport $\frac{L}{R}$	0 ,40	0 ,64
Allongement.	32 p. 100	21 p. 100

Barrettes provenant d'une pièce moulée obtenue au four Martin.



	MÉTAL naturel	MÉTAL trempé
Limite élastique L . .	32 ^{kg} ,00	46 ^{kg} ,00
Charge de rupture R. .	58 ,00	70 ,00
Rapport $\frac{L}{R}$	0 ,55	0 ,66
Allongement.	16 p. 100	10 p. 100

Barrettes provenant d'une pièce moulée obtenue au convertisseur Robert.



	MÉTAL naturel	MÉTAL trempé
Limite élastique L . .	20 ^{kg} ,00	41 ^{kg} ,00
Charge de rupture R. .	43 ,00	63 ,00
Rapport $\frac{L}{R}$	0 ,46	0 ,69
Allongement.	26 p. 100	15 p. 100

BULLETIN.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

ROUMANIE.

Loi sur les mines du 21 avril 1895 et règlement pour son exécution du 29 avril 1895.

La Roumanie vient de refaire sa législation minérale par une loi du 21 avril dernier, en 138 articles, qui a été complétée pour son exécution par un règlement du 29 avril en 97 articles. La loi se compose de deux parties bien distinctes : la première, formée des titres I à XVII (articles 1 à 106), constitue seule la vraie loi sur les mines; les titres XVIII et XIX (articles 107 à 138) sont en quelque sorte une loi différente organisant des caisses de secours pour les ouvriers mineurs. Le règlement du 29 avril se rattache exclusivement à la première partie de la loi. Nous allons examiner successivement ces deux parties et en signaler, dans l'ordre généralement reçu pour de pareilles études, les traits principaux et les règles essentielles; à l'analyse de la loi, nous associerons, en tant que de besoin, celle du règlement du 29 avril (*).

I.

A s'en tenir aux simples apparences, on est frappé tout d'abord des emprunts effectués par le législateur roumain, dans la première partie de son œuvre, aux projets de loi sur les mines préparés par le gouvernement français en 1886 et 1894; nombreuses sont les dispositions qui dérivent presque textuellement de ces projets. En réalité, il n'y a là que des emprunts de détail:

(*) Lorsqu'un article est cité sans autre indication, il se rapporte à la loi; quand il s'agit d'un article du règlement du 29 avril, le numéro de l'article est précédé de l'indication : *Règl.*

Les avantages multiples et considérables consentis en Roumanie aux propriétaires de la surface, la durée temporaire des concessions de mines avant qu'elles ne deviennent des propriétés perpétuelles, établissent entre cette législation et notre législation actuelle ou celles projetées pour la remplacer des différences inconciliables.

En la forme, la loi roumaine ne laisse pas d'avoir un texte assez confus et assez peu ordonné (*); ce n'est pas sans peine que l'on peut la condenser dans l'analyse qui va suivre.

Classification légale des substances minérales. — Elles sont rangées en mines et carrières (art. 2 et 72) d'après une division qui, sauf sur deux points, rappelle celle de nos projets français de 1886 et 1894. De ces deux différences, l'une se rapporte à la bauxite, que la loi roumaine a placée dans les mines; l'autre aux pétroles, ozokérites, asphaltes et bitumes, dont la loi fait, en la forme, une catégorie à part (art. 65-70), bien qu'au fond elle se rattache aux carrières sur tous les points, sauf pour l'impôt (**). Il faut enfin ajouter que l'exploitation du sel, soit par mines de sel gemme, soit par sources salées, est exclusivement réservée à l'État (art. 77 à 80).

Les mines ne peuvent être exploitées qu'en vertu de concessions, instituées par l'État conformément à la loi organique, et régies par elle.

Les carrières dépendent exclusivement du propriétaire du sol, sous une simple surveillance exercée par l'administration des mines dans les mêmes conditions qu'en France.

Recherches de mines. — Des recherches ne peuvent être entreprises qu'en vertu d'un permis administratif (art. 16); le propriétaire du sol y est même assujéti pour ses terrains (art. 23). Mais, par contre, il peut toujours réclamer un permis de recherche par droit de préférence contre tous autres explorateurs (*id.*).

Le permis est accordé par nature de substance (art. 24) comme du reste seront instituées les concessions.

(*) Il se peut que certaines confusions résultent de la traduction qui a été communiquée aux *Annales*; mais celles auxquelles nous faisons allusion tiennent à des fautes évidentes dans l'ordonnance des matières et du texte.

(**) Les carrières étant soumises comme les mines à une redevance proportionnelle sur le produit net, la différence qui résulte de cette clause se réduit à une question de quotité. Les mines paient 2 p. 100 du produit net; les carrières 1 p. 100; c'est au taux de 2 p. 100 que sont assujétiées les exploitations de matières bitumineuses.

Il est accordé pour dix-huit mois et peut être prorogé d'un an (art. 24), pour une étendue superficielle de 50 hectares au plus, étant entendu que la plus petite diagonale sera au moins le tiers de la plus grande (art. 26).

L'explorateur doit payer une indemnité d'occupation qui peut être réglée par voie administrative ou l'est, à défaut, par voie judiciaire (art. 27).

Il dispose du produit de ses recherches (art. 28) et peut être astreint à une caution pour garantir les dommages à craindre (art. 31).

Le permis de recherche est cessible (art. 34).

Institution des concessions de mines. — Au début, les mines ne sont instituées que pour une durée de 75 ans (art. 7). Après cette première période, la concession, avec toutes ses dépendances immobilières, revient, à titre perpétuel, au propriétaire ou aux propriétaires de la surface sans qu'ils aient d'indemnité à donner au premier concessionnaire (art. 103). Si le propriétaire ne veut pas de la concession, ou s'il la laisse inexploitée, elle est mise en adjudication pour 75 ans sur la base d'une rente qui revient audit propriétaire de la surface (*id.*).

Cette restriction de durée dans la première période de la concession constitue à coup sûr une particularité à remarquer, au moins au point de vue des principes généralement admis en cette matière. Mais la portée de la disposition s'atténue singulièrement en fait si l'on observe les avantages considérables attribués, à toute époque, aux propriétaires de la surface. On va voir ceux qui leur sont ménagés à l'origine; on vient de dire ceux, plus considérables encore, qui leur sont réservés après la première période de 75 ans: en somme, sauf de minces profits pour l'inventeur ou le premier explorateur, il semble que tout revient, dans cette législation, à remettre les mines aux propriétaires de la surface, en les obligeant toutefois à les exploiter ou à laisser qu'un autre les exploite, mais dans ce cas à leur profit.

Revenons, après avoir signalé ces points essentiels, à l'institution originaire de la concession.

Toute demande d'institution de concession est nulle, qui est déposée avant que l'existence du gisement ait été prouvée (art. 48).

Pour bien déterminer les conditions de l'institution, il faut, avec la loi, distinguer et délimiter l'*inventeur* et l'*explorateur*.

L'*inventeur* (art. 17) est celui qui, le premier, sans avoir fait

de fouilles spéciales pour l'exploration, a signalé et fait constater officiellement l'existence d'un gisement jusqu'alors inconnu.

On ne peut se prévaloir du titre et des avantages de l'inventeur qu'au regard d'une seule concession (*Règl.*, art. 5).

Si la concession n'est pas instituée en faveur de l'inventeur, il aura droit à une redevance proportionnelle de 1/2 p. 100 du revenu net annuel, pourvu que l'exploitation commence dans les cinq ans de la date de l'enregistrement de la découverte (art. 19) (*).

L'*explorateur* est celui qui, par ses fouilles dans un périmètre de recherche par lui régulièrement détenu, a établi matériellement l'exploitabilité du gîte (art. 20) (**).

L'explorateur, avant l'expiration de son permis de recherche, a un droit de préférence pour obtenir la concession de la mine (art. 36-37). Mais le propriétaire de la surface a le droit de s'associer à l'entreprise pour moitié, en laissant la direction à l'explorateur (art. 39-40).

Si le propriétaire n'use pas de cette faculté, il a droit à une redevance annuelle de 4 p. 100 du produit net (art. 35).

Au cas où ni l'explorateur, ni l'inventeur, ni le propriétaire n'ont demandé la concession, le gouvernement peut l'attribuer librement à un tiers (art. 49).

A l'explorateur qui n'aura pas pu demander et par suite n'aura pas pu obtenir la concession, il pourra être attribué à la charge du concessionnaire une redevance annuelle de 1 p. 100 du produit net (art. 35) (***) .

Le périmètre de la concession est fixé par le demandeur dans une étendue maximum de 1000 hectares pour les combustibles et de 600 pour les autres mines, à la condition que deux points de ce périmètre ne soient pas éloignés de plus de 4 kilomètres pour les mines de combustibles et de 2^km1/2 pour les autres mines (art. 50), l'administration pouvant rectifier les limites demandées sans pouvoir diminuer la surface (*id.*).

(*) La rente en faveur de l'inventeur grèvera-t-elle la concession à perpétuité ou seulement pendant la première période des 75 ans? La loi ne répond pas explicitement à cette question qui semble devoir être résolue dans le premier système.

(**) On ne doit pas oublier, pour apprécier la situation faite au propriétaire superficiaire, qu'il n'y a d'explorateur permissionné autre que lui que s'il l'a voulu, puisque le permis n'a pu être donné à un tiers que sur son refus de le prendre (art. 23) (V. ci-dessus *Recherches de mines*).

(***) On peut répéter ici l'observation faite ci-dessus pour la durée perpétuelle, ou limitée à 75 ans, de cette redevance.

L'article 43, paragraphe 2, portant qu'il est statué sur les demandes dans l'ordre de leur priorité, on doit admettre que la priorité de la demande règle la préférence entre les explorateurs concurrents pour un même périmètre de concession. Avec des périmètres de recherche de 50 hectares, ils peuvent être une dizaine, voire même une vingtaine pour des mines de combustibles.

On ne doit pas oublier, d'autre part, que, d'après une règle ci-dessus rappelée, sont nulles de plein droit toutes demandes déposées avant que l'existence du gîte n'ait été établie.

Caractère des concessions de mines. — Les concessions s'instituent, on l'a dit, par nature de substance (art. 14).

S'il peut y avoir, dans les conditions sus-rappelées, des concessions de 75 ans ou des concessions perpétuelles, les unes et les autres ont le même caractère juridique et sont soumises aux mêmes dispositions légales (art. 103 § 4) (*).

Le droit d'exploitation — qui constitue la concession — est immobilier, transmissible comme tout autre bien, susceptible d'hypothèques et de privilèges et distinct de la propriété de la surface (art. 7).

Font partie intégrante de la mine les constructions, machines, puits, galeries et autres travaux (art. 8).

Sont considérés comme immeubles les chevaux, outils, et autres objets servant exclusivement à l'exploitation de la mine (*id.*); mais le concessionnaire originaire de la première période de 75 ans, qui est tenu de laisser au propriétaire du sol sans indemnité, pour constituer la concession perpétuelle, les objets faisant partie intégrante de la mine, peut retirer ceux dont on vient de parler en dernier lieu (art. 103).

Sont meubles les matières extraites, approvisionnements et autres objets mobiliers, ainsi que les actions et les revenus de toute société ou entreprise ayant pour objet l'exploitation des mines (art. 9).

La division d'une concession et la réunion de plusieurs concessions de même nature ne peuvent avoir lieu qu'avec une autorisation du gouvernement (art. 9).

Le concessionnaire peut librement renoncer à sa concession (art. 12).

Le retrait de la concession peut être prononcé :

(*) Il semble discutable de soumettre au même régime, notamment pour les hypothèques et privilèges, des concessions temporaires et des concessions perpétuelles.

1° Pour défaut de paiement des taxes dues à des associations syndicales forcées (art. 59);

2° Pour inexploitation de la concession pendant un an, sans cause reconnue légitime (art. 63);

3° Si, sans cause reconnue légitime, l'exploitation est restreinte ou suspendue de manière à nuire aux besoins des consommateurs ou à créer un danger public (art. 64).

L'autorité judiciaire, après mise en demeure de l'administration restée sans résultat, apprécie la légitimité de l'abandon et poursuit, s'il y a lieu, la vente qui est effectuée au profit du concessionnaire déchu ou de ses créanciers (art. 63).

Le concessionnaire peut occuper, à l'intérieur de la concession, tous les terrains nécessaires à l'exploitation — sous réserve de la protection des habitations dans un rayon de 100 mètres — et à l'intérieur tous les terrains nécessaires à l'établissement des puits et galeries d'assèchement ou d'accès et à l'établissement de voies de communication (art. 54), moyennant une indemnité à la double valeur (art. 55).

Il est tenu à réparer tous les dommages résultant de ses travaux (*id.*).

Des investissements de 50 mètres doivent être laissés entre mines voisines (art. 56).

Les mines voisines ou superposées peuvent former entre elles des associations syndicales libres; elles peuvent être contraintes à constituer des associations syndicales forcées pour l'exécution et l'entretien d'ouvrages d'intérêt commun ou de défense commune, le tout dans des conditions analogues à celles de notre droit français (art. 58-61).

Les mines sont soumises à la surveillance de l'administration dans des conditions générales qui rappellent aussi celles de notre droit (art. 81-84).

Cette surveillance s'exerce, sous l'autorité du ministre des Domaines, par les soins des ingénieurs des mines.

Les détails de la police des exploitations forment la majeure partie du Règlement du 29 avril, dans ses articles 45 à 97. On y reconnaît sans peine un ensemble de dispositions, empruntées soit à notre décret du 3 janvier 1813, soit surtout à l'arrêté royal belge de 1884; elles fixent les règles sur les ouvertures de la mine (*), la circulation du personnel par échelles ou par câbles

(*) La clause de la double communication avec le jour est explicitement posée par l'article 45.

(*Règl.*, art. 50-54), l'aérage, l'éclairage, l'emploi des explosifs, les mesures contre les venues d'eau, enfin les dispositions générales sur l'emploi des femmes, qui ne peuvent être occupées souterrainement, ou des enfants, qui ne peuvent être admis au fond avant 14 ans (art. 84), sur les accidents et les sauvetages.

Nous ne relèverons comme présentant quelque nouveauté que l'obligation d'employer dans toutes les mines, même sans grisou, des lampes fermées avec tamis métallique (art. 66) et l'obligation de numérotter les détonateurs pour pouvoir rendre compte exactement de leur emploi (art. 73).

Les mines doivent payer annuellement à l'État une redevance fixe de 0^e,25 par hectare (art. 94 et *Règl.*, art. 25), et une redevance proportionnelle de 2 p. 100 du produit net, ledit produit étant évalué d'après des règles visiblement empruntées à notre système de redevance proportionnelle (*Règl.*, art. 27 à 40).

Carrières. — Elles s'exploitent sur simple déclaration, sous la surveillance de l'administration des mines aux mêmes fins et d'après le même mode qu'en France (art. 71-76). Elles payent à l'État une taxe annuelle de 1 p. 100 du produit net.

Sources minérales. — La loi ne s'en occupe que pour rappeler qu'elles dépendent exclusivement du propriétaire du sol (art. 79), qui doit seulement une taxe annuelle de 1 p. 100 du produit net lorsqu'il les exploite pour l'usage médical (art. 97).

II

La loi, dans ses titres XVIII et XIX, a organisé deux systèmes de caisses :

1° Des caisses de maladie et d'accidents (invalidité et pensions exclus) ;

2° Une caisse d'État pour invalidité, retraites d'âge, pensions de veuves et d'orphelins à la suite d'accident.

La loi s'applique non seulement aux ouvriers des mines, mais à ceux des carrières et des établissements minéralurgiques.

Les caisses de la première catégorie assurent, en cas de maladie ou d'accident, les secours médicaux et pharmaceutiques pour une durée de 10 mois au plus, et, pour 6 mois au plus, un salaire de maladie de 35 p. 100 du salaire normal pour l'ouvrier célibataire et de 50 p. 100 dudit salaire pour l'ouvrier marié.

Ces caisses correspondent à une seule entreprise lorsque celle-ci occupe plus de 120 ouvriers ; elles comprennent tous les

ouvriers d'une région déterminée pour les entreprises moins importantes.

Elles sont alimentées par une retenue de 3 p. 100 sur les salaires et une contribution équivalente du patron, soit au total par des ressources de 6 p. 100 des salaires.

La caisse d'État du titre XIX assure :

1° Des pensions aux invalides par suite d'accidents ;

2° Des pensions aux invalides par suite de maladie ou d'infirmités ;

3° Des retraites d'âge ;

4° Des pensions aux veuves et orphelins des ouvriers tués par accidents ou morts de maladie.

La pension d'invalidité à la suite d'accident s'élève :

En cas d'incapacité absolue, à 45 p. 100 du salaire normal pour l'ouvrier célibataire et à 60 p. 100 dudit salaire pour l'ouvrier marié ;

En cas d'incapacité partielle, à 20 ou 35 p. 100, suivant les conditions suivantes :

Pour l'invalidé par maladie, la pension varie de 10 et 20 p. 100 à 45 et 60 p. 100, suivant que l'intéressé a versé à la caisse pendant une durée variant de 10 à 30 ans et qu'il est célibataire ou marié.

La retraite d'âge est acquise à 54 ans, après 30 ans de versement ; elle est de 60 p. 100 du salaire.

En cas de mort par accident, la veuve reçoit une pension de 20 p. 100 du salaire, et chaque orphelin 15 p. 100, avec un maximum pour tous de 60 p. 100.

En cas de mort par maladie, la veuve reçoit 30 francs si le mari a versé pendant moins de dix ans à la caisse ; s'il a versé à la caisse pendant une durée de 10 ans à plus de 25 ans, la pension varie de 10 à 50 p. 100 du salaire.

La caisse est alimentée par une retenue de 2 p. 100 des salaires et une contribution égale du patron.

La loi prévoit que ces ressources pourront être réduites si la caisse n'a pas besoin de leur totalité pour son service ; par contre, en cas d'insuffisance des ressources, toutes les pensions seraient diminuées.

L. A.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ITALIE EN 1894.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉ	VALEUR	PRIX moyen	NOMBRE d'ouvriers
<i>1° Production des mines.</i>				
	tonnes	francs	fr. c.	
Minerai de fer	187.728	2.089.156	11,12	2.178
— de ferromanganèse	5.810	46.480	8,00	65
— de manganèse	760	23.500	30,92	70
— de cuivre	92.886	2.228.146	23,99	2.003
— de zinc	131.777	9.198.955	69,80	10.173
— de plomb	29.822	3.792.111	127,15	
— d'argent	1.103	847.222	768,11	787
— d'or	7.748	663.908	85,68	548
— d'antimoine	1.504	225.295	149,79	302
— de mercure	15.022	1.017.244	67,72	514
Pyrite de fer	22.638	296.347	13,09	447
Combustibles minéraux	271.295	1.893.958	6,98	2.347
Soufre	13.850	484.750	35,00	30.339
} brut moulu				
} fondu	391.931	24.783.205	63,23	
Sel gemme	19.467	281.868	14,63	370
Sel de sources	11.326	289.304	25,54	127
Asphalte et bitume	60.493	1.403.390	23,19	899
Pétrole	2.854	847.260	296,88	194
Gaz hydrocarboné	12.000 ^{m3}	300	0,025	1
Eaux minérales	24.730 ^{can}	409.829	18,86	37
Alunite	6.000	24.000	4,00	87
Acide borique	2.746	1.180.780	430,00	452
Graphite	1.575	12.600	8,00	54
Totaux	»	52.042.605	»	51.994
<i>2° Production des usines métallurgiques.</i>				
	tonnes	francs	fr. c.	
Fonte	10.329	1.506.697	145,87	872
Fonte de 2 ^e fusion	10.060	2.527.424	251,23	
Fer	141.729	33.218.072	234,37	9.919
Acier	54.614	16.769.261	307,05	
Tôles étamées	5.750	2.815.000	489,56	293
Cuivre et alliages de cuivre	7.048	12.334.637	1.750,09	1.541
Zinc	280	308.000	1.100,00	»
Plomb	19.605	4.842.232	246,98	»
Argent	58.626 ^{kg}	6.448.860	110,00	860
Or	349 ^{kg}	1.260.286	3.607,58	
Antimoine	351 ^{tonn}	288.130	820,89	32
Mercure	258	1.135.200	4.400,00	121
Agglomérés { de charbon minéral	506.534	14.440.423	28,51	567
} de charbon végétal	21.370	1.595.900	74,67	211
Soufre raffiné	33.659	2.882.424	80,83	1.453
Soufre en poudre	90.561	8.272.323	91,34	
Sel marin	402.515	4.151.911	10,31	2.943
Asphalte et bitume	7.820	249.130	31,85	120
Pétrole, benzine, etc.	1.640	967.600	590,00	34
Gaz	148.982.953 ^{m3}	34.693.067	0,23	3.590
Gaz d'éclairage { Produits secondaires } (coke, goudron, eaux } ammoniacales)	433.309	14.505.061	»	
Totaux	»	165.211.635	»	22.538

(Extrait de la Rivista del servizio minerario nel 1894.)

NOTICE HISTORIQUE

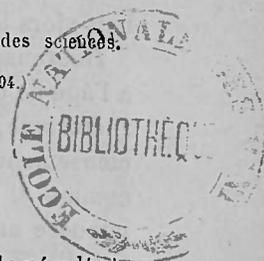
SUR

PIERRE - LOUIS - ANTOINE CORDIER

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES,
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Par M. J. BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

(Lue dans la séance publique annuelle du 17 décembre 1894.)



La séance dans laquelle l'Académie proclame le résultat de ses concours est aussi, suivant une tradition respectée depuis près de deux siècles, celle où ses secrétaires perpétuels évoquent le souvenir de l'un des confrères qu'elle a perdus. Aucune règle ne dirige et ne limite leur choix. Les plus illustres ont attendu longtemps, quelques-uns attendent encore un hommage digne de nos regrets et de leur renommée. Dulong, Cauchy, Chevreul, Cordier, Clapeyron, Sturm, Liouville, A. de Jussieu, Becquerel, J.-B. Dumas, Claude Bernard, n'ont pas encore eu leur tour. Pour de tels noms la prescription n'est jamais acquise. Je veux le montrer aujourd'hui en consacrant cette séance à la mémoire d'un confrère éminent près duquel peu d'entre nous, quatre seulement, je crois, ont eu l'honneur de s'asseoir à l'Académie des sciences.

Cordier, mort en 1861, était né à Abbeville le 31 mars 1777. Sa famille, d'origine anglaise, qui depuis plusieurs siècles y vivait honorablement, lui a transmis dès l'en-

fance ses habitudes de politesse et de haute distinction. Le poète Millevoye, son cousin, fut son ami d'enfance.

Cordier fit ses études au collège d'Abbeville, et les fit bien. Plus restreintes qu'aujourd'hui, elles n'étaient ni moins fortes ni moins fécondes. Sans demander quelles carrières embrasseraient leurs élèves ni les préparer à l'exercice d'une profession, les maîtres croyaient leur tâche bien remplie s'ils leur avaient donné l'habitude de la réflexion et le goût du travail. Ni dans les hautes ni dans les basses classes, la crainte des examens n'enchaînait alors les esprits et ne troublait les études.

Heureusement né pour les lettres, le futur savant obtint, à l'âge de quinze ans, les premiers prix dans la classe de rhétorique, entre autres celui de vers latins, irrévérieusement nommé alors *præmium strictæ orationis*, comme si le trait saillant de l'exercice était la gêne imposée aux syllabes.

L'École des mines était d'un accès facile. Deux maîtres seulement y enseignaient, l'un la docimasie et l'autre la géométrie souterraine. Il suffisait, pour y être admis, de joindre à des recommandations qu'on ne refusait guère le certificat authentique d'une instruction élémentaire en mathématique et en dessin. La République, en mettant les places au concours, y attacha de petits appointements. Les concurrents cependant restèrent peu nombreux; c'était en 1794; les parents hésitaient à envoyer leurs enfants à Paris, et l'École, de son côté, veillait à écarter les aristocrates. La haine des tyrans tenait le premier rang dans le programme du concours; Cordier, à l'âge de seize ans, dut faire attester par vingt signatures son attachement à la cause sacrée de la liberté et son amour pour l'égalité. Le jeune collégien d'Abbeville fut autorisé, en conséquence, à habiter Paris pour y recevoir, aux frais de sa famille, des leçons de mathématiques qui durèrent deux mois. Le concours était clos;

mais deux candidats seulement s'étaient présentés, et l'École offrait quarante places. La porte restait ouverte; pour subir l'examen, chacun choisissait son jour; les lettres d'admission se succédaient sans assigner ni rang ni note de mérite. « Nous t'engageons, dit le post-scriptum de celle de Cordier, à te livrer au dessin, pour lequel tu as paru médiocre. »

L'École, dès la première année, congédia la moitié de ses élèves. On organisa pour les autres des voyages d'instruction. Les deux plus méritants, Cordier et Brochant de Villiers, parcoururent les Alpes, sous la direction de l'illustre Dolomieu, qui les traita comme ses enfants. En passant au Creusot, ne pouvant visiter l'usine abandonnée et déserte, on explora la vallée; chacun y fouilla son domaine. « Quelques-uns y trouvaient un peu de charbon; d'autres, moins heureux, avaient rencontré une substance semblable à la houille par ses caractères extérieurs et qui n'en différait que par son incombustibilité totale. »

Le général Bonaparte, en adjoignant une commission de savants à l'expédition d'Égypte, tenait à honneur de faire admirer la glorieuse phalange où chaque science était représentée. Monge et Berthollet, ses seuls confidents, entouraient l'expédition de mystère; Dolomieu consentit à s'y engager. Le jeune Cordier fut admis à le suivre, heureux et fier, sans s'inquiéter des dangers, de devenir le compagnon et le collaborateur de Monge, de Berthollet, de Geoffroy Saint-Hilaire, de Malus et de Fourier. Ces savants illustres, avant d'ouvrir à Cordier les portes de l'Académie des sciences, l'avaient jugé, à l'institut d'Égypte, digne déjà de leur commerce intime et de leur amicale confraternité. Partis ensemble de Paris le 6 avril 1798, Dolomieu et Cordier se rendirent à Toulon en géologues, c'est-à-dire à pied. La promenade dura trente-cinq jours. Après d'inévitables retardements,

ils furent embarqués sur le vaisseau le *Tonnant*. On voulut, en passant à Malte, s'emparer de la forteresse et du palais des chevaliers. Dolomieu était jadis entré dans l'ordre et avait fait les caravanes requises pour l'avancement; dégagé depuis longtemps de ses serments, il crut pouvoir, dans l'intérêt de tous, accepter le rôle de négociateur. On devait plus tard en faire l'occasion et le prétexte d'une cruelle et mytérieuse vengeance. Quarante jours après son départ de Toulon, le *Tonnant* jeta l'ancre dans le port d'Alexandrie. Les savants ne reçurent aucune mission expresse. Toute vérité était proposée à leur étude. C'est en soulevant les voiles du passé qu'ils devaient éclairer l'avenir. La minéralogie, science peu cultivée par ses illustres collègues, imprimait à la curiosité de Cordier une direction originale.

Les ruines d'Héliopolis lui révélèrent tout d'abord l'exhaussement successif de la vallée du Nil, et la distinction qu'il faut y faire entre le rôle des sables du désert et celui des inondations. Un fragment de sel gemme incrusté dans les obscurs caveaux de la pyramide de Chéops l'intéresse et l'étonne tout autant que le secret des caractères étranges et le mot des pieuses énigmes gravées sur le porphyre des sarcophages. C'était la première fois qu'à de tels problèmes on associait, pour les éclairer, les études sur la nature des pierres et la recherche de leur origine. Tout semblait réuni sur cette terre radieuse pour enfler et accroître l'exaltation des pensées du jour. On lit sur le carnet de voyage de Cordier :

« La plupart des Français qui ont visité les Pyramides n'y ont vu que les massifs sans goût formés par l'entassement des pierres. Le reste, en convenant de l'art qu'il a fallu pour les construire, les appelle des monuments de la tyrannie et du malheur; ignorent-ils qu'il n'existe aucun grand monument dans le monde

qu'on ne puisse attribuer à ces trois grands fléaux de l'humanité : l'ambition, la superstition et la tyrannie ! »

Ces lignes sont écrites le 9 vendémiaire an VI; c'eût été miracle qu'un sage de vingt ans échappât aux lieux communs du jour.

Cordier visita près de Thèbes la statue dont chaque matin, disent les poètes, les sons mélodieux saluaient le lever de l'aurore. « Le goût du merveilleux, écrit-il, est un des ingrédients que la nature a mis dans la composition de l'esprit humain. Les prêtres d'Égypte savaient en user; leur renommée de science et de secrète industrie a fait ranger les soupirs du fabuleux Memnon parmi les illusions que la science peut inspirer et devrait démasquer. »

Les historiens pourtant parlent comme les poètes.

Des visiteurs illustres, et en grand nombre, ont, pendant plusieurs siècles, inscrit leurs témoignages sur le corps du colosse abattu. Ce murmure harmonieux a été, à une époque très éclairée, admiré par les plus sceptiques. Doit-on n'y voir qu'une supercherie? Les inventions de la science auraient peine à la définir et aucun accident du hasard n'en a renouvelé le prodige. Cordier, par déférence pour un confrère illustre, a consenti plus tard à former des conjectures. Dans une note ajoutée au mémoire de Letronne sur la célèbre statue, il en compare les sons tant vantés au cri strident d'un bâton de soufre brusquement échauffé.

Dolomieu, alléguant une santé chancelante, demanda à quitter l'Égypte. La traversée était périlleuse. Cordier réclama sa part des dangers. On s'embarqua par une nuit obscure sur la *Belle-Maltaise*, corvette bien armée, bien approvisionnée, fine voilière, disait-on. Le vent était favorable. Au soleil levant, la ligne de la croisière anglaise était traversée; on se réjouissait du succès, quand un cri s'éleva : « La cale est inondée ! »

L'eau monte rapidement! Un habile plongeur se fait attacher pour explorer le navire; on le remonte mortellement blessé. Il a vu la charpente entr'ouverte! On le croit d'autant mieux, qu'on en trouve la raison : pour loger les chevaux du général Dumas, on avait supprimé les cloisons et coupé de grosses poutres. La mort semble imminente. Quelques-uns récitent les dernières prières. Cordier s'empare d'un boulet assez petit pour entrer dans sa poche, assez lourd pour l'entraîner au fond. Dolomieu charge un pistolet. Les chefs demeurent stupides. Un pauvre passager, embarqué la veille par charité, propose de faire passer sous le bâtiment des corps légers de toute sorte : paille hachée, biscuit pilé, légumes secs, filasse, chiffons; il a vu déjà ce moyen réussir. L'expédient était ridicule; mais quand le péril presse on obéit à celui qui commande. L'espoir double les forces et relève les courages. Les pompes prennent le dessus, et bientôt, il ne reste à bord que l'eau nécessaire pour remplacer comme lest les chevaux, les canons, les boulets et les caisses de toute sorte jetées tout d'abord à la mer.

La côte d'Égypte était proche, mais surveillée par la flotte anglaise. Préférant la mort à la captivité, on s'aventure vers la France. La tempête se joue du navire désarmé, et pour dernière disgrâce, pousse la *Belle-Maltese* dans le port de Tarente. La contre-révolution y triomphait, et avec elle la haine de la France. Aux imprécations grotesques et aux bouffonneries, une populace féroce et rieuse mêle des cris de mort.

Un prêtre qui se trouvait là s'écrie, pour sauver l'équipage : « Ils viennent d'Égypte, un homme à leur bord est mort de la peste! » La foule recule, et ses laides grimaces expriment le désappointement. Comment les massacrer sans les toucher? Ils doivent, avant tout, sortir de la ville. Le général Dumas prend le premier, avec une dédaigneuse audace, le chemin des casemates; au premier

détour, un coup de feu retentit; tous les cœurs se serrent. La France ce jour-là courut un grand danger : si le général Dumas était mort à Tarente, nous n'aurions connu ni son fils ni son petit-fils. C'était heureusement une plaisanterie : les Napolitains voulaient se donner le plaisir de terrifier la proie qui leur échappait. Ils purent voir Dolomieu presser la main de Cordier en lui disant : « Voici le moment de montrer du courage! »

Le prêtre qui les avait sauvés venait chaque jour célébrer la messe devant eux. « Si par hasard on vous pend aujourd'hui, leur disait-il, je ne vous aurai pas laissé mourir comme des chiens ». Cette plaisanterie le faisait rire.

Après vingt jours de casemate, les cinquante prisonniers, insultés et menacés par la foule, furent transportés dans un séminaire abandonné, en danger plus d'une fois d'y mourir de faim. L'ordre vint enfin de les transférer à Messine; ils y furent mieux traités : ration entière de nourriture leur était accordée. On les laissait en rade, complètement libres à bord du navire qui les avait amenés. Dolomieu seul fut mis au cachot. On l'avait dénoncé comme traître à ses serments de chevalier de Malte. La défense pour lui eût été facile; condamné à mort à la suite d'un duel, puis gracié, ayant perdu tous les privilèges de l'ordre, il se croyait affranchi de la règle; mais il ne fut ni entendu ni jugé. Cordier voulut en vain partager le sort de son maître. On ne leur permit pas même un dernier adieu.

On l'embarqua, avec cinquante autres Français, sur un navire parlementaire chargé de les rapatrier. Le capitaine trouva plus commode de les jeter sur la côte d'Italie. Cordier se rendit à Rome, y vécut comme il put, jusqu'au jour où il réussit à gagner Civita-Vecchia, où il prit service sur un bateau corsaire faisant voile pour la France, au risque d'être pendu si le sort des

armes lui était contraire. Ce corsaire heureusement fuyait les aventures et longeait la côte. Cordier mettait chaque relâche à profit. Ses compagnons, les loups de mer, le voyaient inscrire sur son carnet des notes telles que celle-ci :

« Couches primitives contournées en demi-cercle, roches micacées schisteuses, micacées stéatiteuses, feldspathiques, ou grès, serpentines. » Et le lendemain : « Au fond, sur la côte, escarpement de 80 pieds, offrant des roches primitives à base de feldspath et de hornblende. »

Une frégate anglaise leur donna la chasse tout auprès de la côte de France. Un calme plat survint et les sauva; la légère felouque put, à force de rames, échapper au lourd voilier.

L'infatigable géologue, parcourant cette même côte à l'âge de quatre-vingt-deux ans, écrivait à M^{me} Cordier :

« Mes souvenirs d'Égypte ont été vivement éveillés à la vue des plages où j'abordais, il y soixante ans, chassé avec mes compagnons d'infortune par la croisière anglaise que nous avons aperçue lorsqu'aux premières lueurs du jour nous n'étions plus qu'à une heure de terre. Tout cela, ajoute le vieux professeur, ne devrait-il pas effacer les traces des tristes et pitoyables petits événements du Jardin des Plantes? »

Qui se souvient aujourd'hui des rivalités présomptueuses et des ambitions sans scrupules, jugées fort graves alors, et que la douce philosophie de Cordier savait dédaigner à l'avance!

Aucun souvenir ne revenait plus vivement au cœur de Cordier, que les dures épreuves de son maître, presque son père d'adoption, enfermé à Messine dans un cachot humide et obscur, sans connaître l'accusation portée contre lui ni deviner l'accusateur. La mort semblait pour lui inévitable et prochaine; il ne désirait qu'elle, on lui

accorda, pour la retarder, de la lumière et de l'air; ce fut, pendant vingt-deux mois, la seule satisfaction qu'il obtint. La victoire de Marengo le délivra. La mise en liberté du membre de l'Institut Dolomieu fut le premier article du traité de paix. Les souffrances n'avaient pas ralenti l'ardeur du savant. Les Alpes furent son meilleur médecin; il leur demandait les forces nécessaires à un voyage à travers l'Europe, Cordier devait l'y suivre. Ce voyage, lui écrivait Dolomieu, doit vous être plus utile qu'il ne me le sera à moi-même, et j'ai plus de plaisir à m'occuper de ce qui peut faire votre réputation que de ce qui peut soutenir la mienne.

Tels étaient les sentiments de l'illustre minéralogiste pour le jeune ami dont pendant ses longues heures de solitude il traçait avec la suie de sa lampe fumeuse ce portrait échappé à bien des chances de destruction :

« Cordier a de l'esprit et pourra figurer dans la carrière des sciences. Sa conduite envers moi, pendant tout le temps qu'il m'a accompagné, a été parfaite, toujours mesurée, toujours attentive, toujours obligeante. Aussi mes sentiments pour lui sont ceux d'un père. J'aurais voulu qu'on le fit moins ressouvenir qu'il porte une jolie figure. Je désire que des avantages frivoles ne dilatent pas trop son amour-propre, mais le temps fanera l'une, la fréquentation du monde contiendra l'autre, et les excellentes qualités resteront. »

Cette note fait discrètement allusion à un souvenir d'Égypte, à plusieurs peut-être. Cordier, sur cette terre qui aurait dû le lui rappeler, oubliant l'exemple de Joseph, le bel Hébreu, avait accueilli sans crainte et sans mystère la bienveillance d'une belle Française distinguée déjà, avec moins de mystère encore, par le général en chef. Napoléon ne fit pas d'éclat, mais le départ de Dolomieu vint fort à propos pour dérober son élève à une rivalité périlleuse. Cordier mérita et obtint,

sous l'empire, de hautes distinctions, sans rien demander au maître, sans s'approcher de lui et sans l'aimer. C'était lui qui gardait rancune.

Dolomien l'avait bien jugé. Soixante ans plus tard, la physionomie franche et aimable de Cordier, plus qu'octogénaire, montrait l'empreinte d'un esprit sage et ferme, d'une dignité sans hauteur dont jamais les succès du monde n'altérèrent la simplicité. Peu de savants ont, pendant une vie aussi longue, aimé la science avec plus de passion, sans négliger pour elle aucun devoir et sans refuser aucun des travaux demandés sans cesse à son savoir et à son zèle.

Un écrivain spirituel, Alphonse Karr, concluait, d'un calcul contestable, mais plausible, que M. Cordier, pair de France, conseiller d'État, membre de l'Institut, inspecteur général et président du conseil des mines, professeur, administrateur et directeur du Muséum d'histoire naturelle, président de la commission des machines à vapeur, membre du conseil de perfectionnement de l'École polytechnique, appelé chaque lundi à l'Académie des sciences, et chaque jour à la Chambre des pairs, dans quelque commission nouvelle, devait à ses devoirs et occupations publiques soixante-deux heures de travail par jour.

La plaisanterie tombait à faux; Cordier n'acceptait aucune sinécure. Sévère pour lui-même, il faisait, et faisait bien, toute tâche librement acceptée. Content d'une très modeste aisance et d'une éclatante renommée, il laissait venir sans les rechercher les dignités et les honneurs. Inspecteur général des mines à trente-trois ans, Cordier devint promptement et resta, jusqu'à l'âge de quatre-vingt-quatre ans, chef de ce corps d'élite et président de son conseil. Nos jeunes camarades, quels que soient leurs talents et leur zèle, ne sauraient aujourd'hui espérer ni un avancement aussi rapide ni une car-

rière aussi longue. Les règlements s'y opposent, et, par la crainte d'abus possibles, vraisemblables, il faut l'avouer, ils interdisent, l'exemple de Cordier en est la preuve, des exceptions que tous approuveraient. Les tournées d'inspection de Cordier s'encadraient chaque année dans ses voyages géologiques. Jusqu'aux derniers jours de sa verte vieillesse, il a voulu préparer sur le terrain ses leçons au Jardin des Plantes. Les montagnes le charmaient; leur vue produisait chez lui une véritable émotion. En tête d'un manuscrit inachevé, écrit l'année même de sa mort et ayant pour titre *Cinquante et un voyages géologiques*, Cordier pouvait inscrire cette épigraphe : *Nullus fere sine itinere annus*.

Jamais Cordier ne voyageait à l'aventure. Les conseils donnés pendant la route et les renseignements pris sur place changeaient rarement son itinéraire. La prétention de tout voir, disait-il, empêche de bien voir. Repassant souvent par des chemins connus et déjà étudiés, le butin prévu de chaque jour était vérifié, mis en ordre et emballé avant que Cordier songeât au repas du soir.

Malgré les brillants épisodes de sa vie scientifique, sa belle collection de minéraux et de roches restera la gloire de son nom. Les voyages lui servaient de préparatifs et la tâche lui appartenait tout entière. Pour étudier ses minéraux, Cordier les nettoyait lui-même. A l'âge de quatre-vingt-trois ans, on pouvait le voir dans sa cour, quittant son habit, les bras découverts, ouvrir le lourd robinet de la fontaine et brosser d'une main la pierre que de l'autre il tenait sous l'eau. Près de cent mille échantillons, véritable trésor, étiquetés de sa main, de 1820 à 1860, attestent sa persévérance et l'infailibilité de son coup d'œil.

Les instructions et les conseils donnés par Cordier aux naturalistes voyageurs étaient pleins de prudence et de sagesse. « En général, écrivait-il, on se trompe beau-

coup sur le genre de recherches auxquelles il convient de se livrer dans les occasions rares où l'on touche passagèrement des terres inconnues. Le petit nombre de ceux qui s'occupent alors de minéralogie croient s'acquitter en rapportant quelques échantillons choisis avec plus ou moins de discernement, dans le nombre de ceux qui ont attiré leur attention par leur aspect nouveau ou singulier. Ce n'est point des morceaux de cabinet qu'il nous faut. Quand même il en résulterait la possession de quelques espèces nouvelles, cette acquisition ne remplacerait pas les connaissances générales que de pareilles expéditions devraient nous procurer. Les détails de lithologie seraient la part du minéralogiste sédentaire, si jamais la contrée lui offrait ce refuge. Maintenant, et avant tout, c'est le coup d'œil du géologue que nous appelons sur la constitution de l'hémisphère austral. »

Cordier, pendant ses tournées, libre du souci des affaires, pourvu que les nouvelles de sa famille fussent bonnes, s'abandonnait aux études scientifiques et aux inspirations esthétiques de la route. Dans ses carnets de voyage, la géologie, comme il est juste, règne sans partage, mais l'imagination et le cœur — les lettres de Cordier l'attestent — sont toujours prêts à prendre leur part. Quant à son corps, il l'expose aux privations et aux fatigues avec la plus complète indifférence.

Il écrivait en 1803, au haut du pic de Ténériffe : « Je donne quelques moments à la vive satisfaction et à l'esprit d'enthousiasme que m'inspire ce grand spectacle. Quelle compensation pour les fatigues passées ! Quelle place pour réfléchir aux révolutions du globe ! Quels doux moments de repos ! Quelle satisfaction d'être apte à éprouver de si grandes et si rares jouissances, d'avoir eu le courage de les chercher au lieu de végéter comme tant d'autres et de mener une vie obscure ! »

Le jeune enthousiaste exagère. Si l'Europe était en

paix, c'était pour peu de temps. Les révolutions du monde pouvaient offrir aux ambitieux, en 1803, d'autres triomphes que ceux de la science, aux ennemis de l'oisiveté d'autres chemins que celui des sommets déserts, aux esprits curieux d'autres fascinations que le spectacle de la nature.

Heureux de voir ce qu'il avait cherché avec tant de fatigues, Cordier savait aussi profiter des rencontres imprévues. Un jour, il aperçut dans une rue de Salzbourg des murailles en marbre rouge riches en empreintes de fossiles dont la présence semblait résoudre un important problème. Il n'hésite pas, marchande la façade d'une petite maison, l'achète, la paye en vidant sa bourse, dirige lui-même les travaux et, sans déranger les habitants, enlève et expédie au Muséum cinq fragments massifs qui figurent dans nos galeries. Il aurait été plus économique peut-être de rechercher la carrière, qui n'était pas loin ; mais la passion ne raisonne ni n'attend. Le Muséum, malgré les sévérités administratives de « l'ogre Cuvier », remboursa à Cordier ses dépenses. Quoiqu'il ne fût pas riche, c'était son moindre souci.

Les lettres de Cordier, toujours brèves pendant ses tournées, contiennent, à l'occasion, des digressions gracieuses ou émues.

« Dimanche, écrit-il à M^{me} Cordier le 6 juillet 1830, j'ai fait une longue et fatigante journée en allant par les Eaux-Bonnes à Cauterets ; il y a deux cols à monter et à passer dans un pays perdu. Arrivé avec mon guide et mes deux chevaux au sommet du premier col, je vois mon guide tomber comme frappé d'une balle et rouler la tête ensanglantée à travers les pierres du précipice que nous avons à descendre en le tournant ; je me jette après lui, et je suis assez heureux pour l'arrêter au moment où, glissant la tête en bas, il était retenu par une petite saillie. Mon embarras fut grand pour le maintenir et le

retourner. Le malheureux avait une attaque d'épilepsie qui dura plus d'un quart d'heure et dont il est resté hébété toute la journée. Tu peux juger de mon embarras pendant ce maudit quart d'heure, luttant contre un des plus vigoureux gaillards de la contrée, sur la pente d'un précipice, ignorant combien cela pouvait durer, menacé du brouillard, des nuages qui commençaient à envahir toutes les sommités et craignant que les chevaux ne s'échappassent avec mes cartes, mes pierres, mes effets et mon argent. »

Cordier, quelques semaines plus tard, apprenait dans les montagnes les événements de juillet 1830. Il continua sa tournée, jugeant inutile, comme il en soupçonnait un de ses plus illustres collègues, d'accourir au secours des vainqueurs.

Après avoir inspecté, en 1837, les mines d'Anzin et visité celles de Mons, Cordier s'arrêta à Abbeville. On y préparait une élection législative. Quelques amis eurent la pensée d'appeler pour représenter la ville un de ses plus illustres enfants. Cordier laissa faire, non sans répugnance, ni bientôt sans regret. Ses lettres écrites à M^{me} Cordier pendant cette campagne, pour lui si nouvelle, sont de moins en moins respectueuses pour les privilégiés du suffrage restreint. Cordier les trouve trop nombreux, il leur devait à chacun une visite, comme dans les candidatures académiques; mais nos candidats, ils le disent du moins, prisent plus haut les lumières de leurs juges.

« Je voudrais, écrit à M^{me} Cordier le candidat affairé, amuser les enfants ainsi que toi par une gazette électorale détaillée, mais je n'ai pas le temps de plaisanter. »

« Notre député n'est pas brillant », disait-on, peut-être à tort, du prédécesseur, concurrent de Cordier, mais on ajoutait : « Il vaut mieux pour nous qu'un membre de l'Institut! » On savait de bonne source que quatre sous-

préfectures étaient promises aux enfants de Cordier. Ils étaient quatre, en effet : une jeune fille était l'aînée; un frère de quatorze ans, le second, était suivi par deux sœurs dont l'une au berceau. Inhabile à ce genre de lutte, Cordier fut battu, et se promit de ne pas recommencer.

Le Gouvernement, depuis plus de vingt ans, consultait sans cesse Cordier sur les grandes affaires relatives aux travaux publics. On avait apprécié en maintes occasions le jugement ferme et prompt, la vigilance éclairée et l'esprit de droiture qui doublait chez lui l'autorité du savant. Quand un ministre des travaux publics jugea utile et juste de le proposer pour la pairie, la nomination fut approuvée de tous. Très utile dans les questions spéciales qu'il était souvent seul capable de traiter à fond, indispensable dans les commissions relatives aux travaux publics, où le rôle de rapporteur lui semblait dévolu à l'avance, Cordier fut pendant quinze ans, sans appartenir à aucun parti, un des membres les plus honorés et les plus actifs de la haute Chambre.

Les affaires dont Cordier prépara la solution sont nombreuses; nous n'avons pas à les énumérer. Plusieurs cependant sont de grande importance.

La première usine à gaz de Paris avait éclairé d'abord le théâtre de l'Odéon et quelques boutiques du quartier. Après quatre années de succès, la compagnie demanda l'autorisation d'établir une usine nouvelle dans le faubourg Poissonnière. Les travaux projetés parurent immenses. C'était la centième partie peut-être de ce qui a été réalisé depuis. Des protestations furent adressées au préfet de police, au Conseil d'État, et au roi lui-même. Un conseiller d'État habitant du quartier dirigeait la campagne et faisait bon marché de son titre. « Il s'agit, s'écria-t-il, de la vie des hommes; c'est comme homme que je dois la vérité au Gouvernement. » On alléguait

l'exemple de l'Angleterre comme décisif. La Société royale de Londres, consultée, dans un rapport fait en 1814, avait conseillé, sinon d'interdire, du moins de restreindre le nouveau mode d'éclairage, en éloignant les gazomètres de toute habitation, sans que leur capacité pût dépasser 6.000 pieds cubes; on autorise aujourd'hui, sans crainte, des réservoirs mille fois plus vastes.

Après sept ans d'épreuves, le gouvernement anglais conçut de nouvelles alarmes, et voulut de nouveau consulter les hommes d'expérience et de talent. « Mais, s'écrie l'ardent pétitionnaire avec une éloquente ironie, il se garda bien cette fois de consulter la Société royale et de faire parler les savants, espèce de gens assez bons pour les théories, mais à vues étroites, à consciences trop peu friables et qui pensent que l'or et la politique ne peuvent rien contre les droits de l'humanité, les lois de la physique et les règles de la logique! »

Le gaz continua à éclairer la ville de Londres : aucun accident ne se produisit. L'exemple n'en semble pas moins décisif. Aucune explosion ne s'est produite, mais il pourrait s'en produire, et si les circonstances défavorables se trouvaient réunies, les effets possibles, très mal calculés d'ailleurs, seraient terribles. Dans l'intérêt même des concessionnaires, il faut prévenir un tel danger. Le plus sûr moyen est de fermer l'usine. Le Gouvernement, conformément au désir du pétitionnaire, prit pour juge l'Académie des sciences. L'affaire fut renvoyée à Thénard, Gay-Lussac et Cordier, qui se chargea du rapport. Approuvé par ses illustres confrères, il conseilla de passer outre, en discutant avec beaucoup de sagacité et de franchise les dangers, malheureusement réels, dont on exagérait la vraisemblance aussi bien que la gravité.

Les solliciteurs chez Cordier étaient reçus avec une bienveillante politesse; une de ses filles, un jour, fut

surprise d'entendre s'ouvrir brusquement la porte du cabinet de son père, puis des éclats de voix, et, finalement, quelqu'un descendre plus précipitamment qu'il ne l'eût voulu. C'était le solliciteur d'une concession de mines, qui avait insinué à Cordier que des actions lui seraient réservées.

Cordier, correspondant de l'Institut en 1808, avait en 1817 remplacé Haüy dans la section de minéralogie. Quoique ses publications très concises eussent été jusque-là données comme à regret, l'opinion des géologues le plaçait au premier rang. C'est pour lui-même surtout et pour mieux instruire ses élèves que Cordier consacrait à ses voyages tous ses mois de liberté, et à ses méditations sur la géologie toutes ses heures de loisir.

Le savant Ramond, compagnon de ses excursions dans les Pyrénées et en Auvergne, oncle chéri et père d'adoption de M^{me} Cordier, reprochait à son neveu trop d'indifférence pour la gloire, et trop peu d'habileté à rappeler son nom au public : « Il faut de la politique partout, lui écrivait-il en 1812; je termine ma lettre par un avis politique. Avancez la saine doctrine au milieu des hérésiarques, l'honneur vous restera. La section de minéralogie ne peut manquer d'éprouver bientôt quelque perte, il faut que vous y arriviez. Ceux qui se compromettent dans l'opinion des savants travaillent pour vous. » Ramond ajoute (ce que, pour ma part, je crois discutable) : « Ce qui est pis que de se compromettre, c'est de se laisser oublier. Il est bon de se défier de soi, mais n'outrons pas la modestie; peu de gens sont appelés à rendre des oracles du premier coup, ce que vous aurez fait assez bien doit vous satisfaire. Vous ferez mieux demain. »

Haüy, moins politique mais non moins confiant dans l'avenir de son jeune ami, lui écrivait à la même époque : « Vous irez loin dans la science, parce que vous y por-

tez un esprit juste, qui ne prétend pas faire dire à la nature plus qu'elle ne dit. »

Cordier recherchait les roches en amateur passionné, et les étudiait en savant capable de choisir, de juger, de perfectionner les méthodes. Le problème est complexe et des plus difficiles. Les particules les plus diverses sont mélangées, réduites en pâtes d'apparence homogène dont l'œil ne peut distinguer les détails variables d'un fragment à l'autre. La chimie confond dans ses analyses les éléments d'origine différente, et, en réunissant ce qui doit rester séparé, en mesurant le tout, elle confond les détails. Cordier a substitué à l'analyse chimique l'analyse mécanique, qui consiste à réduire en parcelles les espèces minérales dont on peut suspecter l'existence dans la roche. Après avoir étudié avec précision les caractères distinctifs de chacune, on pulvérise les roches, on lave et on vanne, pour réunir, selon leur nature, les particules que la pulvérisation a désunies, et, comme de la montagne on a extrait la roche, sa parcelle grossière, on extrait de la roche les parcelles homogènes, classées et déterminées par la science. C'est une sorte de minéralogie microscopique, disait Cuvier en analysant ce grand et beau mémoire, c'est ainsi qu'il le nomme. La minéralogie microscopique, sous le nom de pétrologie, a pris rang entre les sciences solides et précises.

La polarisation de la lumière a transformé les méthodes et élargi les conclusions; mais aujourd'hui, comme en 1822, tous les savants de l'Europe, pétrologistes ou minéralogistes, salueraient Cordier comme leur initiateur et leur maître.

La fluidité primitive du globe terrestre, qu'aucun savant ne contestait alors, est-elle aqueuse ou ignée? Les géologues étaient partagés. L'école des neptuniens, celle de Werner, n'acceptait aucun doute sur la formation aqueuse

des terrains stratifiés. Les vulcaniens, disciples de Hutton, déclaraient évidente l'origine ignée des terrains granitiques. La conciliation est facile. Le feu et l'eau ont joué chacun leur rôle; mais que faut-il croire de la masse interne? Si je déclare que l'opinion du feu central est aujourd'hui acceptée par la science, on me trouvera trop timide. Pourquoi dire acceptée quand les preuves sont certaines? Si personne aujourd'hui ne conteste sur cette question, les travaux de Cordier y ont largement contribué. En 1827, si nous en croyons Cuvier, le feu central était une hypothèse.

De grands mathématiciens, c'était une présomption favorable, ne l'ont pas, disait-il, trouvée en contradiction avec leurs formules. Ces formules étaient celles de Fourier, qui, non sans raison, reprochait à son collègue d'être trop difficile à convaincre. Le mémoire de Cordier, de plus facile accès, a été fort admiré, beaucoup lu, et souvent cité depuis.

Un savant habile à se faire écouter, Babinet, dans la séance publique des cinq Académies, le 14 août 1854, en disait ici même: « Ce mémoire, qui a fixé la science, mais dont l'auteur, se plaçant hors du cadre des bruyantes réputations, n'a pas recueilli toute la gloire qui lui était due, et que la postérité lui payera. »

La température des couches terrestres s'accroît à partir de la surface, proportionnellement à la profondeur, aucun doute sur ce point n'est possible. La progression, inégale pour les diverses régions, est en moyenne d'un degré qu'il faut ajouter, par chaque enfoncement de trente mètres, à la température moyenne de la surface. Cette loi étendue jusqu'au centre y assignerait une température de 200.000 degrés. La règle de trois, toujours téméraire quand on en veut étendre les applications, est ici condamnée par ses conséquences. Cordier, sans croire à de tels chiffres, accepte comme certaine la grande

élévation des températures centrales, aujourd'hui indiscutée, comme le résultat d'un refroidissement commencé depuis des millions de siècles et dont les effets mécaniques, conséquences de la contraction, jouent dans les dislocations de la terre un rôle permanent qu'il analyse savamment en s'efforçant avec une ingénieuse sagacité d'en montrer d'ineffaçables traces.

Cordier avait épousé en 1817 M^{lle} Borgella, nièce du savant Ramond, préfet du Puy-de-Dôme, botaniste zélé, météorologiste très sagace, célèbre surtout par une infatigable ardeur apportée à l'étude des montagnes. Ne renouvelons pas, en prononçant ici son nom, la faute commise en 1812 par Delambre. « J'ai lu, écrivait Ramond à Cordier, ce que M. Delambre a dit de mon livre dans son compte rendu; il m'a mentionné très honorablement et a eu l'intention de me traiter avec faveur, mais ce qui constitue mon travail est tout autre que ce qu'on a voulu voir jusqu'à présent. » L'occasion semble favorable pour produire cette rectification dans la salle même, je n'ose pas dire devant l'auditoire que Ramond trouvait inexactement informé.

Ramond attachait un grand prix à l'exacte détermination des hauteurs par le baromètre; il y était devenu assez habile pour prédire, dans ses jours de gaieté, que dans l'avenir on verrait les conseils de révision remplacer la toise réglementaire par un baromètre placé sur la tête du conscrit.

Ramond, depuis longtemps, avait apprécié les qualités solides et brillantes du cœur et de l'esprit de Cordier. Le mariage de sa nièce avec un tel ami fut une grande joie pour toute la famille. Le général La Fayette écrivait à Ramond : « Le mariage que vous m'annoncez avec un empressement si aimable remplit tous les vœux de mon amitié; elle m'avait associé au sentiment, dont vous remplissez les tendres et saints devoirs. Je ne suis pas moins

uni à tout ce que vous éprouvez pour votre chère et charmante nièce, dont le bonheur me paraît assuré par les nouveaux liens qui ne la séparent pas de vous. Mes filles et petites-filles, qui m'ont vu recevoir l'intéressante nouvelle, l'ont accueillie avec un cri de joie. »

Cordier savait inspirer à tous la sympathie et la confiance. Humboldt lui écrivait, avec un épanchement de cœur dont jamais il ne fut prodigue : « Vous êtes du très petit nombre d'hommes supérieurs dont je puis m'approcher avec confiance quand un besoin du cœur me tourmente. »

Toujours digne sans être fière, la politesse de Cordier cachait, sous une apparence un peu froide, une bonté active et toujours prête; il ne promettait jamais. Ses réponses, toujours bienveillantes sans être banales, donnaient peu d'espérances à ceux qui s'adressaient à lui; il disait les difficultés et discutait les objections, mais toute demande juste et raisonnable l'intéressait, il s'en occupait aussitôt et ne parlait de ses démarches qu'après le succès. Souvent même il prévenait les sollicitations; ceux qui dépendaient de lui, surpris par une faveur inespérée, étaient heureux d'apprendre qu'ils la devaient à sa bienveillante sollicitude.

Lorsque les employés du Muséum apprirent la gravité de sa dernière maladie, la consternation fut générale; au respect et à la vénération pour leur excellent directeur s'alliait le sentiment d'une grande perte pour leurs intérêts.

Une épouse charmante et aimée a donné à Cordier dix enfants dignes de leur amour, quatre fils et six filles. Mais le malheur ne perd jamais ses droits : deux de ses fils sont morts en bas âge; un troisième, à l'âge de seize ans, avait voulu par un long voyage se préparer à la carrière de marin : embarqué sur un navire de commerce, il était soumis à la discipline du bord. Le capi-

taine, en punition d'une mutinerie puérile, le condamna à passer une heure sur la vergue la plus élevée du grand mât. Un gros temps survint, et l'enfant disparut sans que personne eût rien entendu ni rien vu. Le fils aîné, élève brillant de l'École polytechnique, dédaigna, lors de sa sortie, les carrières entre lesquelles il aurait pu facilement choisir; rien ne lui manquait pour porter dignement un nom illustre. Il est mort jeune encore, laissant des travaux de grand intérêt sur le droit de famille dans les Pyrénées et l'organisation de la famille chez les Basques.

Son fils unique, le dernier qui portât le nom de Cordier, est mort à vingt ans, après de brillants succès de collègue, dans une ascension périlleuse dans les montagnes de la Suisse.

Un autre petit-fils de Cordier, Charles Read, est mort à l'âge de dix-neuf ans, si brillant et si riche d'avenir que ceux qui l'avaient le plus aimé, en présence de son œuvre poétique modestement cachée pendant sa vie, se sont reproché de l'avoir méconnu, et comme l'a dit un de nos poètes les plus chers :

En devinant quel homme eût été cet enfant,
Ils se sont demandé pourquoi le sort défend
Qu'un tel être prospère et vive.

CALCUL

DES

CABLES PORTEURS DE PLANS AÉRIENS (*)

Par M. L. BABU, Ingénieur des mines.

I. — ÉTUDE D'UN CÂBLE A VIDE.

Je ne considère ici que les plans aériens d'une seule portée, ne comportant pas de supports intermédiaires entre la tête et le pied du plan. Les câbles porteurs à vide affectent la forme d'une chaînette.

Je prends l'origine des coordonnées à la tête du plan aérien, c'est-à-dire au point de départ du câble; les axes de coordonnées sont la verticale de l'origine et l'horizontale dans le plan du câble.

Les éléments qu'il importe de mettre en évidence sont :

- la *tension* à laquelle le câble est soumis par millimètre carré de section ;
- les *angles que fait le câble avec l'horizon* à la tête et au pied du plan, angles que je désigne sous les noms d'angle de départ et d'angle d'arrivée. Dans la pratique, on mesure ces angles à l'aide d'un cercle divisé et d'un fil à plomb.

(*) Cette note fait suite à une note publiée dans les *Annales des mines*, en décembre 1894 et ayant pour titre : *Les plans inclinés aériens de la Société d'exploitation de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie*.

Relations entre la tension du câble et les angles de départ et d'arrivée. — Longueur du câble.

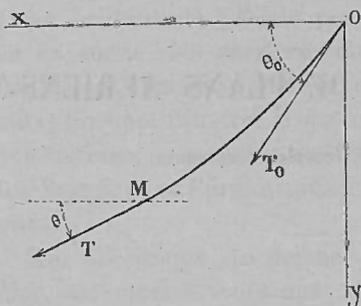


Fig. 1.

Je considère la portion de câble OM. Elle est soumise en O à la tension T_0 , en M à la tension T , et, en chaque point, à l'action de la pesanteur.

On voit immédiatement que les conditions d'équilibre de l'arc OM donnent les trois relations :

$$\begin{aligned} T \cos \theta - T_0 \cos \theta_0 &= 0, \\ T \sin \theta - T_0 \sin \theta_0 + \varpi s &= 0, \\ x T \sin \theta - y T \cos \theta + \varpi \int_0^M x ds &= 0. \end{aligned}$$

Je pose

$$T_0 = \varpi \zeta_0, \quad T = \varpi \zeta;$$

les trois équations d'équilibre peuvent alors s'écrire :

$$\begin{aligned} \zeta_0 \cos \theta_0 - \zeta \cos \theta &= 0, \\ \zeta_0 \sin \theta_0 - \zeta \sin \theta - s &= 0, \\ x \zeta \sin \theta - y \zeta \cos \theta + \int_0^M x ds &= 0. \end{aligned}$$

On déduit facilement de là les relations suivantes :

$$\begin{aligned} (1) \quad x &= \zeta_0 \cos \theta_0 \left[L_n \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_0}{2} \right) - L_n \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \right], \\ (2) \quad y &= \zeta_0 \cos \theta_0 \left(\frac{1}{\cos \theta_0} - \frac{1}{\cos \theta} \right), \\ (3) \quad s &= \zeta_0 \cos \theta_0 (\operatorname{tg} \theta_0 - \operatorname{tg} \theta). \end{aligned}$$

Si le point M est le point d'arrivée du câble au pied du plan, on a trois relations entre les coordonnées de ce point, la longueur du câble, et les angles de départ et d'arrivée.

Relation entre la tension de la chaînette et la tension des fils par millimètre carré.

J'appelle tension de la chaînette en un point le quotient de la tension totale T du câble en ce point par le poids du mètre de câble, c'est-à-dire la valeur ζ .

Soit :

- ϖ le poids du mètre de câble ;
- δ le poids spécifique de l'acier ;
- σ la somme des sections droites en millimètres carrés ;
- Γ la tension des fils par millimètre carré.

On a

$$\varpi = \delta \frac{\sigma}{1.000},$$

d'où

$$\zeta = \frac{T}{\varpi} = \frac{T \cdot 1.000}{\sigma \delta}.$$

Le poids spécifique de l'acier est 7,8 ; mais, par suite du misage, on doit adopter un chiffre un peu supérieur que la pratique montre être égal à 8,5.

Je prends donc

$$\delta = 8,5.$$

D'un autre côté, on a :

$$\Gamma = \frac{T}{\sigma}.$$

et finalement :

$$(4) \quad \zeta = 118 \Gamma,$$

c'est-à-dire : la tension de la chaînette en un point est

égale à la tension du câble par millimètre carré en ce point multipliée par le facteur constant 118.

Tension de la chaînette en un point quelconque en fonction de la tension en haut.

Parmi les relations précédemment écrites, je considère les deux suivantes :

$$\begin{cases} \bar{c}_0 \cos \theta_0 = \bar{c} \cos \theta \\ y = \bar{c}_0 \cos \theta_0 \left(\frac{1}{\cos \theta_0} - \frac{1}{\cos \theta} \right) \end{cases}$$

J'en déduis immédiatement :

$$\bar{c} = \bar{c}_0 \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} \quad \text{et} \quad y = \bar{c}_0 \left(1 - \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} \right).$$

J'élimine $\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta}$ entre ces deux relations et j'obtiens :

$$(5) \quad y = \bar{c}_0 - \bar{c},$$

c'est-à-dire : la différence de tension de la chaînette entre deux points quelconques est égale à la hauteur verticale comprise entre ces deux points.

Rayon de la courbure de la chaînette.

On a

$$\rho = \frac{ds}{d\theta}.$$

Si l'on différencie l'équation (3), on voit que :

$$ds = \bar{c}_0 \cos \theta_0 \frac{d\theta}{\cos^2 \theta},$$

donc

$$(6) \quad \rho = \frac{\bar{c}_0 \cos \theta_0}{\cos^2 \theta}.$$

Expression des équations de la chaînette à l'aide d'abaques.

Je considère les relations 1, 2 et 3, et je pose :

$$\begin{aligned} L_n \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) &= f(\theta) \\ \frac{1}{\cos \theta} &= \varphi(\theta) \\ \operatorname{tg} \theta &= \psi(\theta); \end{aligned}$$

ces trois relations prennent la même forme et deviennent :

$$\begin{aligned} x &= \bar{c}_0 \cos \theta_0 [f(\theta_0) - f(\theta)] \\ y &= \bar{c}_0 \cos \theta_0 [\varphi(\theta_0) - \varphi(\theta)] \\ s &= \bar{c}_0 \cos \theta_0 [\psi(\theta_0) - \psi(\theta)]. \end{aligned}$$

On voit qu'elles ne diffèrent que par la forme des fonctions f , φ et ψ .

Je désigne par X, Y, S, les quotients de x , y et s par \bar{c}_0 ; j'obtiens :

$$\begin{aligned} (7) \quad X &= \cos \theta_0 [f(\theta_0) - f(\theta)] \\ (8) \quad Y &= \cos \theta_0 [\varphi(\theta_0) - \varphi(\theta)] \\ (9) \quad S &= \cos \theta_0 [\psi(\theta_0) - \psi(\theta)], \end{aligned}$$

et X, Y et S sont déterminées par les conditions :

$$\begin{aligned} (10) \quad X &= \frac{x}{\bar{c}_0} \\ (11) \quad Y &= \frac{y}{\bar{c}_0} \\ (12) \quad S &= \frac{s}{\bar{c}_0} \end{aligned}$$

Je considère la surface représentée par l'équation à trois variables X, θ_0 et θ

$$X = \cos \theta_0 [f(\theta_0) - f(\theta)],$$

dans laquelle X est comptée sur l'axe vertical et θ_0 et θ sur les axes horizontaux. Des plans horizontaux correspondant à diverses valeurs de X coupent cette surface

suivant des lignes de niveau dont la projection sur le plan horizontal constitue l'abaque de X.

A une valeur déterminée pour θ_0 et θ , correspond une valeur déterminée de X; mais, à une valeur de X, correspond une série de valeurs de θ_0 et θ astreintes à la seule condition que les points qu'elles déterminent soient sur la courbe correspondant à la valeur de X.

Si l'on construit de même l'abaque de Y sur le même plan que celui de X, on voit qu'à une valeur de X et à une valeur de Y correspondent deux courbes déterminées dont l'intersection a pour coordonnées les valeurs de θ_0 et θ correspondantes. L'abaque des valeurs de X et de Y permet donc de résoudre les équations (7) et (8) par rapport à θ_0 et θ quand on se donne X et Y.

L'abaque de S permet de même de résoudre les problèmes dans lesquels intervient la relation (9).

L'ensemble des courbes X, Y et S, constitue l'abaque du câble à vide (Pl. XII).

Les valeurs de l'angle d'arrivée θ_1 sont comptées sur l'axe horizontal; les valeurs de θ_0 sur l'axe vertical.

Pour les valeurs positives de θ_0 et de θ_1 , les courbes obtenues sont entièrement au-dessus de la bissectrice de l'angle de l'abaque, car nous supposons les valeurs de θ_0 plus grandes que celles de θ_1 ; et l'on voit facilement que pour les valeurs négatives de θ_1 , les courbes Y sont, par rapport à l'axe des θ_0 , symétriques de celles obtenues pour les valeurs positives.

Les points d'intersection des courbes X et Y sont faciles à déterminer; il en est de même des points d'intersection des courbes X et S sauf pour les valeurs de θ_0 et θ_1 très peu différentes l'une de l'autre: les courbes se coupent alors sous des angles très aigus.

De ce qui précède, on déduit immédiatement les propriétés caractéristiques de l'abaque qui sont les suivantes:

1° A une chaînette déterminée correspond un point de l'abaque et un seul;

2° Tout point de l'abaque correspond à une série de chaînettes pour lesquelles les rapports $\frac{x_1}{\bar{C}_0} \frac{y_1}{\bar{C}_0} \frac{s_1}{\bar{C}_0}$ sont déterminés.

Il suffit donc de se donner un point de l'abaque et la valeur d'un des éléments x_1, y_1, s_1, \bar{C}_0 pour qu'une chaînette soit déterminée.

Résolution de divers problèmes sur les câbles à vide.

Quand on étudie un projet de plan aérien, on se donne généralement le point de départ et le point d'arrivée du plan; mais on dispose encore d'un paramètre arbitraire qui est la tension en haut du câble porteur.

Je désigne par:

x_1 et y_1 , les coordonnées du pied du plan,
 θ_1 l'angle d'arrivée du câble.

D'une manière générale, on se trouve en présence de cinq éléments: $x_1, y_1, \bar{C}_0, \theta_0, \theta_1$ et l'on doit calculer deux d'entre eux à l'aide des trois autres. Le nombre des combinaisons possibles est de dix qu'on peut grouper, au point de vue du calcul, en cinq groupes:

	Données.	Inconnues.
1 ^{er} groupe	\bar{C}_0, x_1, y_1	θ_0, θ_1
2 ^e groupe	$\bar{C}_0, \theta_0, \theta_1$	x_1, y_1
3 ^e groupe	$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_0, x_1, \theta_0 \\ \bar{C}_0, y_1, \theta_0 \\ \bar{C}_0, x_1, \theta_1 \end{array} \right.$	y_1, θ_1
		x_1, θ_1
		y_1, θ_0
4 ^e groupe	$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_0, y_1, \theta_1 \\ y_1, \theta_0, \theta_1 \end{array} \right.$	\bar{C}_0, x_1
		\bar{C}_0, y_1
5 ^e groupe	$\left\{ \begin{array}{l} x_1, y_1, \theta_0 \\ x_1, y_1, \theta_1 \end{array} \right.$	\bar{C}_0, θ_1
		\bar{C}_0, θ_0

La combinaison du premier groupe correspond au problème suivant :

1° *Quels doivent être l'angle de départ et l'angle d'arrivée d'un câble de diamètre déterminé pour que la tension du câble par millimètre carré soit égale à Γ_m .*

Ce problème se pose lors de la mise en place des câbles aériens, car les seuls éléments qu'on puisse mesurer facilement pour déterminer la tension du câble sont l'angle de départ ou l'angle d'arrivée.

D'après la relation (4), on a immédiatement :

$$\mathfrak{C}_0 = 118 \Gamma_m,$$

puis les relations (10) et (11) déterminent deux valeurs X et Y :

$$X = \frac{x_1}{\mathfrak{C}_0} \quad Y = \frac{y_1}{\mathfrak{C}_0}$$

et les courbes correspondantes sur l'abaque se rencontrent en un point pour lequel les valeurs de θ_0 et θ_1 sont précisément les inconnues cherchées.

Si Γ_m est la tension maxima à laquelle on peut soumettre le câble, l'angle θ_0 correspondant est l'angle limite qu'on ne doit pas atteindre pendant la mise en tension du câble pour ne pas s'exposer à une rupture. Si l'angle d'arrivée θ_1 est, dans ces conditions, négatif ou trop voisin de zéro, le plan aérien présente une contrepente à l'arrivée et est dans de mauvaises conditions pour fonctionner comme plan automoteur. Le wagonnet n'atteindra, en effet, le pied du plan que quand sa force vive sera suffisante pour vaincre la résistance de la contrepente.

— Les problèmes résultant des combinaisons des deuxième, troisième et quatrième groupes sont également faciles à résoudre et ils se présentent d'ailleurs rarement dans la pratique.

— Les combinaisons du cinquième groupe s'appliquent au cas d'un câble en place dont on veut déterminer la

tension par millimètre carré. Le problème est le suivant :

2° *Déterminer la tension Γ par millimètre carré d'un câble dont on a mesuré l'angle de départ ou l'angle d'arrivée.*

Je suppose, par exemple, qu'on ait mesuré l'angle de départ θ_0 . On a :

$$x_1 = \mathfrak{C}_0 X \quad y_1 = \mathfrak{C}_0 Y.$$

d'où :

$$\frac{y_1}{x_1} = \frac{Y}{X}.$$

A chaque valeur de X correspond donc une valeur de Y déterminée par la relation précédente. Soit A le point d'intersection d'une courbe X avec la courbe Y correspondante. On constate que le lieu des points A est sur l'abaque à peu près exactement une ligne droite qu'il est facile de tracer en déterminant deux de ses points. L'intersection de cette droite avec l'horizontale θ_0 donne sur l'abaque le point correspondant à la chaînette étudiée. Connaissant ce point, on déduit immédiatement \mathfrak{C}_0 de l'une ou l'autre des relations :

$$\mathfrak{C}_0 = \frac{x_1}{X} = \frac{y_1}{Y}$$

et la valeur cherchée pour Γ est :

$$\Gamma = \frac{\mathfrak{C}_0}{118}.$$

Longueurs maxima des plans automoteurs.

Pour qu'un plan puisse être considéré comme véritablement automoteur, il est nécessaire qu'il n'y ait pas de contre-pente à l'arrivée, de telle sorte que si l'on arrête un peu avant l'arrivée, la charge puisse ensuite se remettre seule en mouvement. On se rend compte d'ailleurs que ce n'est pas là une condition suffisante.

J'examine le cas limite $\theta_1 = 0$, pour lequel les valeurs correspondantes de θ_0 sur l'abaque se trouvent précisément sur l'axe des θ_0 .

Soit Γ_m la tension maxima par millimètre carré qu'il convient d'imposer au câble; le maximum de \mathfrak{C}_0 correspondant à cette valeur est :

$$\mathfrak{C}_0^m = 118 \Gamma_m.$$

1° Pour une longueur horizontale déterminée x_1 , un plan automateur ne pourra être établi que si la hauteur verticale du plan est supérieure à une certaine limite.

Les éléments de ce cas limite correspondent sur l'abaque au point d'intersection de l'axe θ_0 avec la courbe X déterminée par la relation

$$X = \frac{x_1}{\mathfrak{C}_0^m}$$

Les valeurs trouvées sont indiquées dans le tableau ci-après :

Longueur horizontale du plan en mètres.	300 - 400 - 500 - 600 - 700 - 800 - 900 - 1.000
Hauteur verticale minima en mètres.	$\Gamma_m = 42^k$. 8,50 - 16,5 - 25 - 36,5 - 50 - 65 - 83,5 - 125
	$\Gamma_m = 21^k$. 18,25 - 32,5 - 62,5

2° Pour une hauteur verticale déterminée y_1 , un plan automateur ne peut être établi que si sa longueur horizontale est inférieure à une certaine limite.

Les éléments de ce cas limite correspondent sur l'abaque au point d'intersection de l'axe θ_0 avec la courbe Y déterminée par la relation

$$Y = \frac{y_1}{\mathfrak{C}_0^m}$$

Les valeurs ainsi trouvées sont indiquées dans le tableau suivant :

Hauteur verticale en mètres.	10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80 - 90 - 100
Longueur horizontale maxima en mètres.	$\Gamma_m = 42^k$ 320 - 450 - 540 - 640 - 700 - 775 - 825 - 875 - 935 - 990
	$\Gamma_m = 21^k$ 225 - 320 - 387 - 437 - 495 - 537 - 580 - 617 - 653 - 690

3° Pour une pente moyenne i définie par la relation $\text{tg } i = \frac{y_1}{x_1}$, on ne peut établir un plan automateur que si la longueur horizontale est inférieure à une certaine limite.

On a dans ce cas

$$\text{tg } i = \frac{y_1}{x_1} = \frac{Y}{X}.$$

Je désigne par I le lieu des points d'intersection sur l'abaque des courbes X et Y qui satisfont à la relation précédente.

Ce lieu est très approximativement une ligne droite. Le point de l'abaque correspondant au cas limite est l'intersection de cette ligne I avec l'axe θ_0 .

Le tableau suivant indique les valeurs trouvées :

Valeur de i en en grades.	7,90	9,40	10,50	12,60	15,60
Valeur de $\text{tg } i$.	1/8	1/7	1/8	1/5	1/4
Longueur horizontale maxima en mètres	$\Gamma_m = 42^k$.	1.200 - 1.350 - 1.560 - 1.840 - 2.290			
	$\Gamma_m = 21^k$.	600 - 675 - 780 - 920 - 1.145			

Il est à remarquer que les conditions obtenues dans les trois cas précédents ne sont pas suffisantes pour qu'on puisse établir un plan automateur; cependant la pratique montre que si les données du problème y satisfont, le plan établi est automateur quand les résistances passives sont réduites au minimum par une bonne installation et par un bon graissage. La force vive du chariot est alors suffisante pour que celui-ci puisse remonter la contre-pente de l'arrivée.

Étude d'un câble franchissant des obstacles saillants.

Quand on établit un projet de plan aérien, on a souvent à examiner si certaines crêtes intermédiaires ne gêneront pas le passage des vagonnets. On peut résoudre le problème de la manière exposée ci-après.

Soit x' et y'_a les coordonnées de l'obstacle; coordonnées qui ont été mesurées à l'aide du tachéomètre.

Je désigne par Γ_m la tension maxima par millimètre carré à imposer au câble; la valeur correspondante de \mathfrak{C}_0 est

$$\mathfrak{C}_0^m = 118 \Gamma_m.$$

Soit A le point de l'abaque correspondant à la chaînette dont la tension est \mathfrak{C}_0^m . Ce point A est déterminé par la rencontre des courbes X et Y données par les relations :

$$X_m = \frac{x_1}{\mathfrak{C}_0^m} \quad Y_m = \frac{y_1}{\mathfrak{C}_0^m}.$$

Il est facile de déterminer l'ordonnée y' de la chaînette correspondant à l'abscisse x' . Je considère en effet la courbe X' dé-

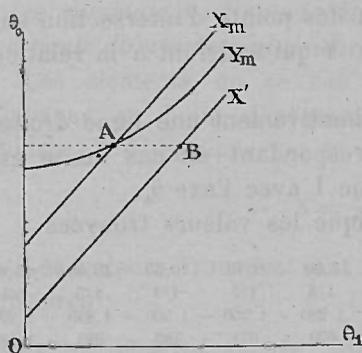


Fig. 2.

terminée par la relation

$$X' = \frac{x'}{\mathfrak{C}_0^m};$$

elle coupe l'horizontale du point A en un point B. Soit y' la valeur de Y correspondant au point B; y' est déterminé immédiatement par la relation

$$y' = \mathfrak{C}_0^m Y'.$$

— Si l'on a :

$y'_a > y'$ le câble passera par-dessus l'obstacle;

$y'_a = y'$ le câble touchera l'obstacle;

$y'_a < y'$ il est nécessaire de faire une tranchée pour le passage du câble.

Il faut de plus que la charge puisse passer sans heurter

l'obstacle, ce qui exige un certain espace libre au-dessous du câble. Pour calculer cet espace il est nécessaire de déterminer quelle est l'ordonnée du vagonnet lorsqu'il passe en ce point; ce problème sera résolu dans l'étude du câble en charge.

Dans certains cas, il est intéressant d'établir un plan aérien desservant un point intermédiaire. Le problème revient alors au suivant : *faire passer une chaînette par trois points donnés.*

Étude d'un câble passant par un point intermédiaire donné.

Je désigne par x' et y' les coordonnées du point intermédiaire M.

Je considère successivement les deux portions de chaînette, l'une allant du point de départ du câble au point M, l'autre du point M au point d'arrivée. Je désigne par A' et par A₁ les points de l'abaque correspondants.

La tension en haut et l'angle de départ de la chaînette A₁ sont respectivement égaux à la tension en bas et à l'angle d'arrivée de la chaînette A'. Sur l'abaque, l'horizontale du point A₁ et la verticale du point A' se rencontrent donc sur la droite OZ, bissectrice de θ_0 l'angle droit qui renferme l'abaque.

Soit :

\mathfrak{C}_0 la tension en haut,

\mathfrak{C}' la tension en M,

θ_0 l'angle de départ en O,

θ' l'angle en M,

θ_1 l'angle d'arrivée.

Je désigne par X'Y'S' les valeurs de XYS au point A; et par X₁Y₁S₁ leurs valeurs en point A₁.

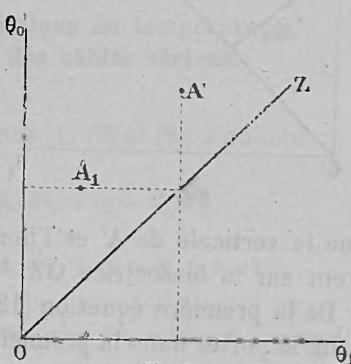


Fig. 3.

D'après la relation (5), je puis écrire

$$\bar{c}' = \bar{c}_0 - y'.$$

On a donc pour les chaînettes A' et A₁ :

$$(13) \quad \begin{cases} x' = \bar{c}_0 X' \\ y' = \bar{c}_0 Y' \end{cases}$$

$$(14) \quad \begin{cases} x_1 - x' = (\bar{c}_0 - y') X_1 \\ y_1 - y' = (\bar{c}_0 - y') Y_1 \end{cases}$$

d'où l'on déduit :

$$(15) \quad \begin{cases} \frac{y'}{x'} = \frac{Y'}{X'} = Y' \\ \frac{y_1 - y'}{x_1 - x'} = \frac{Y_1}{X_1} = I_1. \end{cases}$$

Sur l'abaque je trace la ligne I' correspondant à l'intersection des lignes X' et Y' déterminées par la première relation (15). Je trace de même la ligne I₁. Ces deux lignes sont très approximativement des droites à peu près perpendiculaires à OZ.

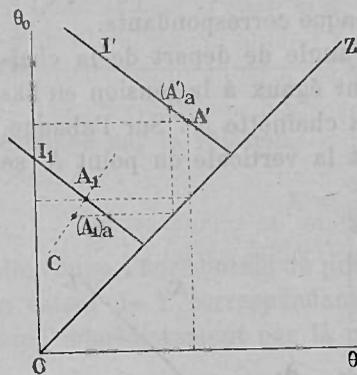


Fig. 4.

Les points A' et A₁ sont respectivement situés sur I' et I₁; nous avons vu de plus que ces points sont conjugués de telle sorte que la verticale de A' et l'horizontale de A₁ se rencontrent sur la bissectrice OZ.

De la première équation (13) je déduis la valeur de \bar{c}_0 pour la porter dans la première équation (14); j'obtiens :

$$(16) \quad \frac{x'}{X'} - \frac{x_1 - x'}{X_1} = y'.$$

Je considère sur la ligne I' un point quelconque (A')_a (fig. 4). Soit (X')_a la valeur de X correspondante. De l'équation (16) je déduis immédiatement une valeur (X₁)_a telle que

$$(X_1)_a = \frac{(x_1 - x')(X')_a}{x' - y'(X')_a}.$$

Je détermine sur la ligne (X₁)_a un point (A₁)_a tel que l'horizontale menée par lui rencontre la verticale du point (A')_a sur la bissectrice OZ. Les deux points (A')_a et (A₁)_a sont conjugués à la manière de A' et A₁. Soit C la courbe lieu des points (A₁)_a, courbe qu'il est facile de tracer en déterminant deux ou trois de ses points; elle rencontre la ligne I₁ au point A₁ qui est le point cherché. On détermine facilement son conjugué A' sur I'.

L'horizontale du point A' détermine immédiatement la valeur θ_0 qu'il faut donner à l'angle départ de la chaînette pour que celle-ci passe par le point intermédiaire M; et on cacule très facilement la tension en haut correspondante.

Influence des variations de température sur la tension des câbles aériens.

Je différencie les équations (1) (2) et (3). J'obtiens :

$$dx = d\bar{c}_0 \cdot \frac{x}{\bar{c}_0} + (\bar{c}_0 - x \operatorname{tg} \theta_0) d\theta_0 + (y - \bar{c}_0) d\theta$$

$$dy = d\bar{c}_0 \cdot \frac{y}{\bar{c}_0} + (\bar{c}_0 - y) \operatorname{tg} \theta_0 \cdot d\theta_0 + (y - \bar{c}_0) \operatorname{tg} \theta \cdot d\theta$$

$$ds = d\bar{c}_0 \cdot \frac{s}{\bar{c}_0} + (\bar{c}_0 - s \sin \theta_0) \frac{1}{\cos \theta_0} d\theta_0 + (y - \bar{c}_0) \frac{1}{\cos \theta_0} d\theta.$$

Quand on considère l'influence de la variation de longueur ds sur la tension d'un câble tendu entre l'origine

et le point (x_1, y_1) , dx et dy sont nuls et l'on a :

$$d\bar{c}_0 \cdot \frac{x_1}{\bar{c}_0} + (\bar{c}_0 - x_1 \operatorname{tg} \theta_0) d\theta_0 + (y_1 - \bar{c}_0) d\theta_1 = 0$$

$$d\bar{c}_0 \cdot \frac{y_1}{\bar{c}_0} + (\bar{c}_0 - y_1) \operatorname{tg} \theta_0 \cdot d\theta_0 + (y_1 - \bar{c}_0) \operatorname{tg} \theta_1 d\theta_1 = 0$$

$$d\bar{c}_0 \cdot \frac{s_1}{\bar{c}_0} - ds_1 + (\bar{c}_0 - s_1 \sin \theta_0) \frac{1}{\cos \theta_0} d\theta_0 + (y_1 - \bar{c}_0) \frac{1}{\cos \theta_0} d\theta_0 = 0.$$

Il suffit d'éliminer $d\theta_0$ et $d\theta_1$ entre ces trois équations pour avoir la relation qui relie $d\bar{c}_0$ à ds . Je pose :

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_1 & \bar{c}_0 - x_1 \operatorname{tg} \theta_0 & y_1 - \bar{c}_0 \\ y_1 & (\bar{c}_0 - y_1) \operatorname{tg} \theta_0 & (y_1 - \bar{c}_0) \operatorname{tg} \theta_1 \\ s_1 & (\bar{c}_0 - s_1 \sin \theta_0) \frac{1}{\cos \theta_0} & (y_1 - \bar{c}_0) \frac{1}{\cos \theta_0} \end{vmatrix}$$

$$\Delta' = \begin{vmatrix} \bar{c}_0 - x \operatorname{tg} \theta & y_1 - \bar{c}_0 \\ (\bar{c}_0 - y_1) \operatorname{tg} \theta_0 & (y_1 - \bar{c}_0) \operatorname{tg} \theta_0 \end{vmatrix}$$

La relation entre $d\bar{c}_0$ et ds , est alors :

$$(17) \quad \frac{d\bar{c}_0}{\bar{c}_0} \Delta - ds_1 \Delta' = 0,$$

Soit :

α le coefficient de dilatation linéaire de l'acier ;
 δt la variation de température.

L'allongement correspondant est $s_1 \alpha \delta t$. On a donc :

$$ds_1 = s_1 \alpha \cdot \delta t,$$

et la variation de tension est finalement donnée par la relation :

$$(18) \quad \frac{\delta \bar{c}_0}{\bar{c}_0} \Delta - \Delta' s_1 \alpha \cdot \delta t = 0.$$

II. — ACTION EXERCÉE PAR UNE CHARGE ROULANTE.

Je considère un plan aérien muni d'un câble tracteur de tête et d'un câble de queue.

Je suppose que le wagonnet repose sur le câble porteur par une seule poulie, et je considère un élément infiniment petit MM' de la trajectoire du point de contact de cette poulie avec le câble. J'assimile cet élément MM' à une portion de plan incliné d'inclinaison α . Soit (fig. 5) :

R_x, R_y les composantes de l'action de la charge sur le câble porteur ;

P le poids de la charge roulante ;

m sa masse ;

t' la tension du câble tracteur de tête en M ;

t'_0 la tension du tracteur de queue en M' ;

$d\sigma$ l'arc MM' ;

$v = \frac{d\sigma}{dt}$ la vitesse en M ;

x' et y' les coordonnées du point M ;

x_1 et y_1 les coordonnées du pied du plan.

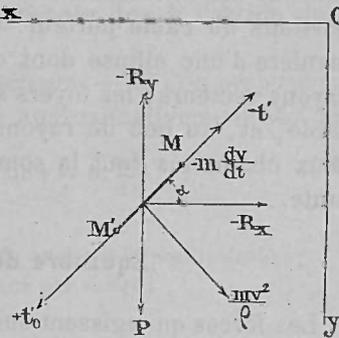


Fig. 5.

Quand les câbles sont suffisamment tendus, ce qui a toujours lieu dans la pratique, les tensions t' et t'_0 font avec MM' de très petits angles, et on peut admettre pour les projections de ces tensions sur MM' les valeurs t' et t'_0 .

Je considère le câble porteur au voisinage du point M .

De part et d'autre de la poulie, les tensions de ce câble sont évidemment égales si l'on néglige le frottement de roulement. Soit (fig. 6) :

T'_a la tension de la partie supérieure en M ;

T'_b la tension de la partie inférieure en M .

On a :

$$T'_a = T'_b.$$

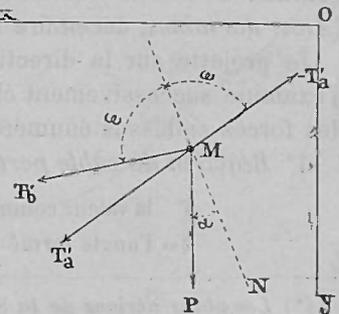


Fig. 6.

La réaction du câble sur la charge roulante est la résultante des tensions $-T'_a$ et T'_b ; cette résultante est par suite la bissectrice de l'angle formé par les tensions $-T'_a$ et T'_b .

On conclut de là que la normale à la trajectoire du point M est la bissectrice de l'angle formé par les deux portions du câble porteur. Ce lieu est donc défini à la manière d'une ellipse dont on connaît les foyers et les rayons vecteurs; les foyers sont le sommet et le pied du câble, et, au lieu de rayons vecteurs rectilignes, on a deux chaînettes dont la somme des longueurs est constante.

Équilibre de la charge.

Les forces qui agissent sur la charge sont :

- la réaction du câble porteur dont les composantes sont $-R_x$ et $-R_y$;
- la pesanteur d'où résulte une force verticale P;
- la tension $-t'$ du câble tracteur de tête;
- la tension t'_0 du câble tracteur de queue;
- les réactions d'inertie savoir : la réaction tangentielle $-m \frac{dv}{dt}$ dirigée suivant MM' et la réaction normale $\frac{mv^2}{\rho}$.

Si l'on projette sur la direction MM', on obtient une relation d'où l'on déduit la tension du câble tracteur (*Ann. des mines*, décembre 1894) (*).

Je projette sur la direction perpendiculaire à MM' et j'examine successivement chacun des termes fournis par les forces ci-dessus énumérées.

1° Réaction du câble porteur. — Soit (*fig. 6*) :

- 1° T la valeur commune de T'_a et de T'_b ;
- 2° ω l'angle formé par $-T'_a$ avec T'_b .

(*) *Les plans aériens de la Société d'exploitation de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie*, p. 619.

On a évidemment :

$$\text{proj. } (-R_x) + \text{proj. } (-R_y) = \text{proj. } (-T'_a) + \text{proj. } (T'_b) \\ = -2T' \cos \omega,$$

en supposant que nous comptons les projections positivement dans le sens oy.

2° Pesanteur. — La composante due à l'action de la pesanteur est $P \cos \alpha$.

3° Tension des câbles tracteurs. — Si l'on projette sur la direction MM', on a très approximativement (*fig. 5*) :

$$t' = t'_0 + P \sin \alpha - m \frac{dv}{dt}.$$

Soit :

- t la tension du tracteur de queue à la poulie du bas;
- ω' le poids du câble tracteur par mètre;
- α' l'angle de t' avec ox;
- α'_0 l'angle de t'_0 avec ox.

On sait que l'on a :

$$t'_0 = t + \omega'(y_1 - y').$$

Mais le poids ω' est seulement de 0^{kg},150 environ. Le terme $\omega'(y_1 - y')$ est donc très faible.

D'un autre côté, t est très voisin de la tension initiale en bas donnée au tracteur sans fin lors de sa mise en place. Cette tension t est donc connue et on a très approximativement :

$$t' = t + P \sin \alpha - m \frac{dv}{dt}, \\ t'_0 = t.$$

Si l'on connaît la position du point M, les chaînettes du tracteur de queue et

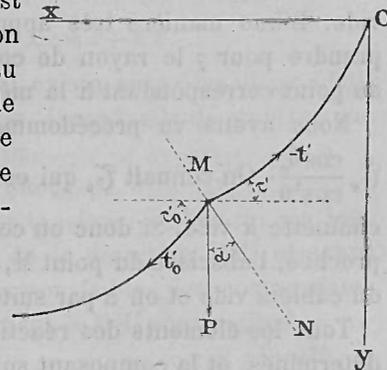


Fig. 7.

du tracteur de tête sont alors déterminées par deux points et la tension en l'un d'eux. A l'aide de l'abaque des câbles à vide, on calcule immédiatement τ' et τ_0 .

D'un autre côté, il est facile de voir que l'on a, si MN est normale à MM' (fig. 7):

$$\text{angle de } -t' \text{ avec MN} = \tau' + \frac{\pi}{2} - \alpha = \frac{\pi}{2} - (\alpha - \tau')$$

$$\text{angle de } t'_0 \text{ avec MN} = \alpha + \frac{\pi}{2} - \tau'_0 = \frac{\pi}{2} - (\tau'_0 - \alpha).$$

On déduit de là les projections de $-t'$ et de t'_0 sur la direction MN :

$$\text{proj. de } (-t') = \left(t + P \sin \alpha - m \frac{dv}{dt} \right) \sin (\alpha - \tau')$$

$$\text{proj. de } t'_0 = t \sin (\tau'_0 - \alpha).$$

4° *Réaction de l'inertie.* — La réaction tangentielle est normale à la direction sur laquelle on projette.

La réaction normale (force centrifuge) est en projection $\frac{mv^2}{\rho}$.

En fait, lorsqu'on regarde fonctionner un plan aérien, on constate que la courbure de la trajectoire du wagonnet diffère peu de la courbure de la chaînette du câble à vide. D'une manière très approximative, on peut donc prendre pour ρ le rayon de courbure de cette chaînette au point correspondant à la même abscisse.

Nous avons vu précédemment que ρ a pour valeur $\mathcal{C}_0 \frac{\cos \theta_0}{\cos^2 \theta}$. On connaît \mathcal{C}_0 qui est la tension en haut de la chaînette à vide. Si donc on connaît, d'une manière approchée, l'abscisse du point M, on calcule θ par l'abaque du câble à vide et on a par suite la valeur de ρ .

Tous les éléments des réactions de l'inertie sont ainsi déterminés, et la composant suivante MN est :

$$\frac{mv^2}{\rho} = m \frac{v^2 \cos^2 \theta}{\mathcal{C}_0 \cos \theta_0}.$$

Formule de l'équilibre. — L'équilibre des composantes suivant la direction MN donne finalement la relation :

$$2T' \cos \omega = P \cos \alpha + t \sin (\tau'_0 - \alpha) + \left(t + P \sin \alpha - m \frac{dv}{dt} \right) \sin (\alpha - \tau') + m \frac{v^2}{\rho}.$$

On peut simplifier cette expression en remarquant que t est assez faible et ne dépasse guère 60 à 80 kilogrammes, rarement 100 kilogrammes; d'un autre côté, les angles $(\tau'_0 - \alpha)$ et $(\alpha - \tau')$ sont très petits. On peut négliger les termes dans lesquels intervient t , et l'on a :

$$(19) \quad 2T' \cos \omega = P \cos \alpha + P \left(\sin \alpha - \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) \sin (\alpha - \tau') + \frac{P v^2 \cos^2 \theta}{g \mathcal{C}_0 \cos \theta_0}.$$

J'exprime le poids P de la charge roulante à l'aide d'une longueur \mathcal{L} de câble porteur :

$$P = \sigma \mathcal{L}.$$

et je pose :

$$P \left(\sin \alpha - \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) \sin (\alpha - \tau') + \frac{P v^2 \cos^2 \theta}{g \mathcal{C}_0 \cos \theta_0} = K \sigma \mathcal{L}.$$

La relation (19) devient

$$(20) \quad 2\mathcal{C}' \cos \omega = \mathcal{L} \cos \alpha + K \mathcal{L}.$$

Telle est la relation qui existe entre les deux chaînettes d'un câble en charge. Il est facile de montrer que le coefficient K est très petit.

Le terme $K \mathcal{L}$ est dû en effet :

1° Aux composantes des tensions $-t'$ et t'_0 ; ces tensions étant très voisines de la direction MM' et ayant elles-mêmes une valeur assez faible, les composantes qui en résultent normalement à MM' sont petites;

2° A la composante normale de l'inertie $\frac{P v^2 \cos^2 \theta}{g \mathcal{C}_0 \cos \theta_0}$.

Sur les plans à faible portée, \mathcal{C}_0 peut ne pas être

grand, mais la vitesse de marche est faible. Sur les plans à longue portée qui sont les plus intéressants, v peut atteindre 25 mètres par seconde, mais ζ_0 est généralement > 3.000 et dépasse souvent 5.000. Il suffit, en effet, pour que ζ_0 atteigne 5.000 que le câble travaille à 40 kilogrammes par millimètre carré.

D'un autre côté, on a toujours $\cos^2 \theta_0 \leq 1$, et, pour les plans où la pente moyenne n'est pas trop forte, on a de plus :

$$\cos \theta_0 > \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

Dans ces conditions, on constate facilement que :

$$\frac{v^2 \cos^2 \theta}{g \zeta_0 \cos \theta_0} < 0,02.$$

La réaction de l'inertie introduit donc dans K un terme inférieur à 0,02.

Dans les plans où la pente n'est pas très forte, et où l'angle de départ des câbles est < 50 grades (et ce sont les plans pour lesquels il est important d'effectuer le calcul des câbles porteurs), on a toujours :

$$\cos \alpha > \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

On voit que, à côté du terme $\cos \alpha > 0,7$, on peut négliger un terme $< 0,02$.

Avec une très grande approximation, on peut donc remplacer la relation (20) par la relation simplifiée :

$$(21) \quad 2 \zeta' \cos \omega = \mathcal{L} \cos \alpha.$$

Si l'on veut avoir une relation plus exacte, il suffit, une fois les calculs faits à l'aide de (21), de substituer dans K les éléments ainsi trouvés. Soit :

- α_1 , la valeur approchée de α trouvée,
- K_1 , la valeur approchée de K.

Je pose :

$$\mathcal{L} \left(1 + \frac{K_1}{\cos \alpha_1} \right) = \mathcal{L}'.$$

A la relation (20), je puis alors substituer la relation plus exacte :

$$(22) \quad 2 \zeta' \cos \omega = \mathcal{L}' \cos \alpha.$$

et \mathcal{L}' est un peu plus grand que \mathcal{L} .

Expression de la relation $2 \zeta' \cos \omega = \mathcal{L}' \cos \alpha$
à l'aide d'un abaque.

Un câble en charge se compose de deux chaînettes qui ont un point commun, point d'arrivée de la chaînette supérieure et point de départ de la chaînette inférieure. Je désigne par A' la chaînette supérieure, par A₁ la chaînette inférieure. Soit (fig. 8) :

- θ' l'angle d'arrivée de la chaînette A',
- θ''_0 l'angle de départ de la chaînette A₁.

Il est facile de constater que l'on a :

$$(23) \quad \begin{cases} \omega = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta' - \theta''_0}{2} \\ \alpha = \frac{\theta' + \theta''_0}{2} \end{cases}$$

Je pose

$$\Lambda = \frac{\cos \omega}{\cos \alpha}.$$

j'en déduis :

$$(24) \quad \Lambda = \frac{\sin \frac{\theta' - \theta''_0}{2}}{\cos \frac{\theta' + \theta''_0}{2}}.$$

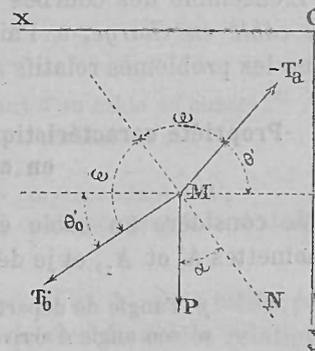


Fig. 8.

D'un autre côté, en vertu de la relation (21), on a :

$$(25) \quad \Lambda = \frac{\rho}{2\bar{\sigma}}.$$

Je remarque que cette relation (25) est de la même forme que les relations (10), (11) et (12) donnant pour le câble à vide les valeurs de X, Y, S. Toutes sont du premier degré par rapport à la tension de la chaînette; seuls les angles de départ et d'arrivée des chaînettes interviennent dans les fonctions transcendantes X, Y, S et Λ . De même que j'ai précédemment exprimé les fonctions X, Y et S à l'aide d'un abaque contenant trois séries de courbes, de même j'exprime Λ à l'aide de courbes formant l'abaque de Λ (Pl. XII).

A cet effet, je compte les valeurs θ' sur l'axe horizontal des θ_1 , les valeurs θ_0 sur l'axe vertical des θ_0 , et je trace les courbes obtenues sur l'abaque donnant déjà X, Y et S.

L'ensemble des courbes X, Y, S et Λ forme l'abaque du câble en charge, à l'aide duquel on peut résoudre tous les problèmes relatifs aux câbles en charges.

Propriété caractéristique de l'abaque du câble en charge.

Je considère un câble en charge composé des deux chaînettes A' et A₁, et je désigne par :

- p l'angle de départ de la chaînette A',
- n' son angle d'arrivée à la charge,
- p' l'angle de départ de la chaînette A₁,
- n son angle d'arrivée au pied du plan.

Je suppose les deux points A' et A₁, représentant les chaînettes, placés sur l'abaque du câble en charge.

Les coordonnées du point A' sont p [et n'];
les coordonnées du point A₁ sont p' et n .

La verticale du point A' rencontre l'horizontale du point A₁ en un point B dont les coordonnées sont p' et n' et qui est par suite situé sur la ligne Λ déterminée par les relations (24) et (25). Nous arrivons alors à la conclusion suivante :

Tout câble en charge détermine sur l'abaque trois points A' A₁ B conjugués de telle sorte que la verticale du point A' et l'horizontale du point A₁ se rencontrent en B sur la ligne Λ .

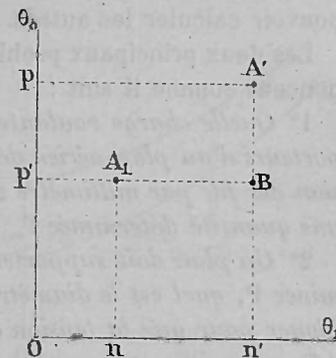


Fig. 9.

III. — CALCUL D'UN CÂBLE EN CHARGE.

Je désigne par :

- $\bar{\sigma}_0 = \bar{\sigma}' + y'$ la tension en haut d'un câble en charge;
- s' la longueur de la chaînette supérieure A';
- s_1 la longueur totale du câble;
- X'Y'S' les valeurs de X, Y, S correspondant à A';
- X₁Y₁S₁ les valeurs de X, Y, S correspondant à la chaînette inférieure A₁.

Les éléments des chaînettes A' et A₁ sont reliés par les sept équations suivantes qui résultent des relations (10) (11) (12) et (25).

$$\begin{array}{ll} (26) & x = (\bar{\sigma} + y')X' \\ (27) & y = (\bar{\sigma} + y')Y' \\ (28) & s = (\bar{\sigma} + y')S' \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{ll} (29) & x_1 - x' = \bar{\sigma}'X_1 \\ (30) & y_1 - y' = \bar{\sigma}'Y_1 \\ (31) & s_1 - s' = \bar{\sigma}'S_1 \end{array} \right.$$

$$(32) \quad \bar{\sigma}'\Lambda = \frac{\rho}{2}.$$

Ces équations contiennent neuf variables : \mathcal{C}' , x' , y' , s' , p , n' , p' , n , \mathcal{L} , il suffit de se donner deux d'entre elles pour pouvoir calculer les autres.

Les deux principaux problèmes qu'on a à résoudre s'énoncent comme il suit :

1° *Quelle charge roulante peut-on imposer aux câbles porteurs d'un plan aérien déjà installé, pour que la tension des fils par millimètre carré ne soit pas supérieure à une quantité déterminée Γ_m .*

2° *Un plan doit supporter une charge roulante déterminée P, quel est le diamètre minimum des câbles à employer pour que la tension des fils ne soit pas supérieure à Γ_m par millimètre carré.*

1° Calcul de la charge roulante pour un câble donné.

Le travail imposé au câble varie évidemment quand la charge parcourt le plan d'un bout à l'autre.

Pour calculer la tension qui correspond à un point de la position de la charge, nous définirons ce point par son ordonnée y' , et nous avons alors à déterminer quelle est la charge roulante qui, en ce point, imposera au câble la tension Γ_m par millimètre carré. Il importe également de déterminer l'abscisse x' , correspondant pour cette charge à l'ordonnée y' , de manière à pouvoir construire la trajectoire du chariot.

Les données sont $y' = b$ et $\mathcal{C}' = \mathcal{C}'_m = 118 \Gamma_m - y'$, les inconnues sont p , n' , p' , n , x' , s' , \mathcal{L} .

Les équations (27 et (30) déterminent immédiatement des valeurs Y' et Y_1 et les points A' et A_1 sont, sur l'abaque, respectivement situés sur les courbes ainsi déterminées.

Je considère un point quelconque $(A_1)_a$ sur Y_1 . A ce point correspondent des valeurs $(X_1)_a$, $(S_1)_a$ déterminées

sur l'abaque. Les relations (29) et (31) donnent les valeurs x'_a et s'_a correspondantes, et les équations (26) et (28) permettent ensuite de déterminer $(X')_a$ et $(S')_a$. Les courbes $(X')_a$ et $(S')_a$ se rencontrent en un point $(A')_a$ (fig. 10).

Soit C la courbe lieu des points $(A')_a$, courbe qu'il est facile de construire. Cette courbe C rencontre la courbe Y' en un point qui est précisément le point A' cherché. Connaissant le point A' , on détermine facilement le point A_1 et par suite le point B d'où résulte la valeur Λ_m correspondante.

La relation (32) donne alors immédiatement :

$$\mathcal{L} = 2 \mathcal{C}'_m \Lambda_m.$$

Le poids qu'il ne faut pas dépasser pour la charge roulante est donc :

$$P = 2 \sigma \mathcal{C}'_m \Lambda_m.$$

2° Diamètre du câble pour une charge roulante déterminée.

On se donne encore ici la tension maxima Γ_m à imposer au câble et l'ordonnée d'un point de la charge, $y' = b$. On suppose que la tension du câble à vide et par suite sa longueur sont aussi données d'avance.

Comme précédemment on calcule immédiatement \mathcal{C}'_m et on détermine les trois points A' , A_1 , B d'où résulte la valeur correspondante Λ_m . On a encore ici :

$$\mathcal{L} = 2 \mathcal{C}'_m \Lambda_m.$$

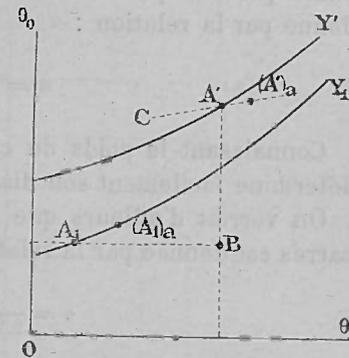


Fig. 10.

Si P est le poids de la charge roulante, le poids ω du câble porteur par mètre courant est immédiatement donné par la relation :

$$\omega = \frac{P}{L}$$

Connaissant le poids du câble par mètre courant, on détermine facilement son diamètre.

On verrait d'ailleurs que la section en millimètres carrés est donnée par la relation :

$$\sigma = \frac{P}{2\Delta_m \Gamma_m}$$

Trajectoire du chariot.

Le problème du calcul de la trajectoire du chariot peut se poser comme il suit :

Un câble en place dont on connaît les éléments est parcouru par un chariot de poids P ; quelle est l'abscisse du chariot lorsque celui-ci est en un point dont l'ordonnée est $y' = b$.

Le problème est un peu plus complexe que les précédents, car nous ignorons ici la valeur de \mathcal{C}' . Les données sont :

$$y' = b \quad \text{et} \quad L = \frac{P}{\omega}$$

Nous avons cependant une idée approximative de \mathcal{C}' . Je donne à \mathcal{C}' une valeur $(\mathcal{C}')_a$ que je suppose voisine de la valeur vraie. En agissant comme dans le premier problème nous déterminerons trois points conjugués, correspondant à cette valeur $(\mathcal{C}')_a$, d'où résultera pour L une valeur $(L)_a$, généralement différente de la valeur donnée.

A une autre valeur $(\mathcal{C}')_b$ de \mathcal{C}' correspondrait de même une autre valeur $(L)_b$.

Je porte sur un axe horizontal les valeurs de \mathcal{C}' et sur

un axe vertical les valeurs de L ; j'obtiens un point E qui correspond à la valeur $(\mathcal{C}')_a$ et un point F qui correspond à la valeur $(\mathcal{C}')_b$. Je trace l'horizontale correspondant à la valeur L donnée; elle coupe la droite EF en un point H pour lequel l'abscisse correspondante est $(\mathcal{C}')_c$. La tension ainsi déterminée est très approximativement la tension vraie de la chaînette en haut.

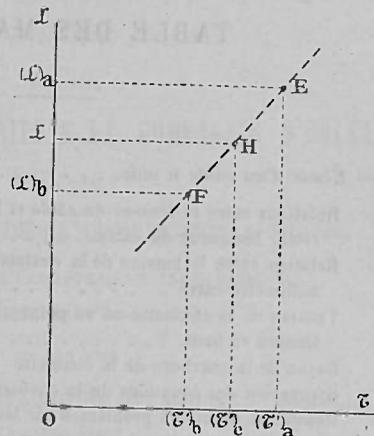


Fig. 11.

Dès qu'on connaît cette tension, on peut placer sur l'abaque les trois points conjugués exacts A' , A , et B , et l'équation (26) donne immédiatement x' .

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
I. — <i>Étude d'un câble à vide.</i>	621
Relations entre la tension du câble et les angles de départ et d'arrivée. Longueur du câble.	622
Relation entre la tension de la chaînette et la tension des fils par millimètre carré	623
Tension de la chaînette en un point quelconque en fonction de la tension en haut.	624
Rayon de la courbure de la chaînette	624
Expression des équations de la chaînette à l'aide d'abaques.	625
Résolution de divers problèmes sur les câbles à vide.	627
1° Calcul de l'angle de départ et de l'angle d'arrivée d'un câble de diamètre déterminé, pour une tension déterminée par millimètre carré.	628
2° Calcul de la tension par millimètre carré, pour un câble dont on a mesuré l'angle de départ ou l'angle d'arrivée.	629
Longueurs maxima des plans automoteurs.	629
1° Pour une longueur horizontale déterminée.	630
2° Pour une hauteur verticale déterminée.	630
3° Pour une pente moyenne déterminée.	631
Étude d'un câble franchissant des obstacles saillants.	631
Étude d'un câble passant par un point intermédiaire donné.	633
Influence des variations de température sur la tension des câbles aériens.	635
II. — <i>Action exercée par une charge roulante.</i>	636
Équilibre de la charge.	638
Expression de la relation $2C' \cos \omega = L \cos \alpha$ à l'aide d'un abaque.	643
Propriété caractéristique de l'abaque du câble en charge.	644
III. — <i>Calcul d'un câble en charge.</i>	645
1° Calcul de la charge roulante pour un câble donné	646
2° Diamètre du câble pour une charge roulante déterminée.	647
Trajectoire du chariot	648

NOTE

SUR LES

ESSAIS COMPARATIFS FAITS A LA COMPAGNIE D'ORLÉANS,

SUR UNE

LOCOMOTIVE MUNIE DE LA DISTRIBUTION A TIROIRS

D'ADMISSION ET D'ÉCHAPPEMENT INDÉPENDANTS

(Système DURANT et LENCAUCHEZ)

ET SUR UNE

LOCOMOTIVE AVEC DISTRIBUTION A TIROIR A GOUILLE

(Système GOOCH)

Par M. ERNEST POLONCEAU, Ingénieur en chef
du matériel et de la traction au chemin de fer de Paris à Orléans.

Dans la note publiée dans les *Annales des mines* en novembre 1893, j'ai indiqué quels étaient les résultats pratiques obtenus pendant une année à la compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans par l'emploi de la distribution de vapeur à tiroirs d'admission et d'échappement indépendants.

Dans le but de compléter nos premiers essais et afin d'être fixé d'une manière certaine et définitive sur la valeur exacte de ce dispositif, j'ai jugé intéressant de faire procéder à des expériences comparatives de traction.

Les résultats de ces expériences, qui ont été effectuées en septembre et en octobre 1894 au moyen de deux wagons dynamomètres prêtés par la compagnie P.-L.-M.,

sont contenus dans cette note, dans les tableaux qui la suivent et dans les figures de la Pl. XIII.

Ces expériences comparatives de traction ont été faites sur la locomotive n° 332 à quatre distributeurs et sur la locomotive n° 337 à distribution ordinaire, et avec 24 trains entre Paris et Orléans et retour (profil *fig. 3*, Pl. XIII).

Afin d'être certain que les deux wagons dynamomètres donnaient les mêmes indications, on les a attelés pour essai comparatif aux trains 19 et 14 le 27 septembre, et, les indications relevées ont été semblables dans tous les points du parcours. Néanmoins, pour ne laisser subsister aucun doute dans les résultats, les wagons dynamomètres ont été attelés alternativement à la machine n° 332 et à la machine n° 337.

Les chefs machinistes et les machinistes ont fait les trains 19, 14, 5 et 28, tantôt avec la locomotive n° 332 et tantôt avec la locomotive n° 337.

Les indicateurs *Martin* ont été également changés tous les jours de machine.

Le combustible employé a été de même nature pendant toute la durée des expériences. On comptait le nombre de sacs au départ et à l'arrivée de chaque train; la différence donnait la quantité de combustible dépensé pendant le trajet. La quantité de combustible pour l'allumage et la mise en réserve a été la même pour les deux machines.

Pour établir les dépenses d'eau, on a mesuré la hauteur d'eau dans la caisse du tender au moyen d'une règle graduée avant le départ et à l'arrivée de chaque train; on a relevé également la hauteur d'eau dans les tubes de niveau d'eau et la pression correspondante de la chaudière. Le nombre de seaux d'eau employés pour l'arrosage et le nombre d'amorçages des injecteurs ont été également notés.

Toutes ces opérations ont été contrôlées simultanément

par des agents du service du matériel et du service des machines.

Les tableaux 1 et 2 ci-joints donnent les relevés des conditions de marche, les dépenses d'eau, de charbon, etc.

Le tableau n° 1 donne les dépenses d'eau ainsi que la marche suivie pour les déterminer.

Le tableau n° 2 donne :

1° Le tonnage exact en 100 tonnes kilométriques pour chaque train. Pour l'établir, on a pris les numéros de toutes les voitures composant le train; aux poids vides des véhicules relevés dans le carnet du matériel, on a ajouté le poids des voyageurs à raison de 80 kilogrammes pour chacun ainsi que celui des bagages. (Le nombre des voyageurs et le poids des bagages ont été donnés par la gare de Paris).

2° La consommation de charbon :

Cette consommation a été déterminée en ajoutant à la dépense pendant le trajet un poids de 250 kilogrammes de charbon, afin de tenir compte de la différence de chargement du foyer au départ et à l'arrivée des trains (*).

3° La dépense totale d'eau :

Dans les dépenses totales d'eau on n'a pas déduit les arrosages de combustible ni les amorçages d'injecteurs, on a déduit pour la marche à contre-vapeur 30 litres par kilomètre (*).

4° Les dépenses d'eau et de charbon par cheval-vapeur et par heure ainsi que l'eau vaporisée par kilogramme de combustible. Le cheval-heure n'a été compté que pour le travail correspondant à l'effort obtenu au crochet de traction du tender sans tenir compte du travail absorbé par la locomotive et le tender, c'est pourquoi la dépense par cheval-heure est si élevée. Ce tableau con-

(*) Dans les consommations d'eau et de charbon, il n'a pas été tenu compte de la dépense de vapeur pour la pompe de compression ni des pertes de vapeur pour les soupapes de sûreté.

tient en outre le nombre des arrêts pour chaque train, la durée totale des arrêts et la durée réelle de marche. Ces derniers renseignements ont été relevés sur les graphiques des wagons dynamomètres.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

(a) *Résumé des résultats obtenus avec les wagons dynamomètres indiquant le travail utile produit par les machines 337 et 332.* — La dépense de vapeur par cheval-heure de la machine 332 à quatre distributeurs, mesurée au crochet de traction du tender a été de 11,19 p. 100 inférieure à celle de la machine 337 à distribution ordinaire (tableau n° 2).

La dépense de charbon de la locomotive 332 (tableau n° 2) a été de 6,3 p. 100 moins forte que celle de la locomotive 337.

La locomotive 337 a produit 8^{kg},17 de vapeur par kilogramme de charbon.

La locomotive 332 n'a produit que 7^{kg},81 de vapeur par kilogramme de charbon (tableau n° 2).

Cette différence de rendement des chaudières de ces deux locomotives, dont les dimensions et conditions d'établissement sont absolument les mêmes, ne peut provenir que de l'état des parois des tubes et du foyer en contact avec l'eau qui sont plus ou moins entartrées et c'est ce qui explique la différence entre l'économie de charbon 6,3 p. 100 et l'économie d'eau 11,19 p. 100. Dans le cas présent, pour apprécier la valeur de la distribution, l'économie d'eau est seule à considérer.

Ce système de distribution a de plus l'avantage de permettre à la machine de marcher à une plus grande vitesse; la *fig. 1*, Pl. XIII, qui représente les courbes moyennes de mise en vitesse des trains 19 le fait bien

voir : la locomotive n° 332 atteint plus rapidement la vitesse de régime que la locomotive n° 337.

La *fig. 2*, Pl. XIII, représente les courbes de vitesse de tous les trains 19 qui avaient plus de trois minutes de retard et montre que la locomotive n° 332 a gagné plus de temps dans la marche que la locomotive n° 337; elle a souvent atteint la vitesse de 108 kilomètres à l'heure entre Brétigny et les Aubrais avec une charge moyenne de 167 tonnes, ce que n'a jamais pu faire la locomotive n° 337. Ainsi, au train 19 du 12 octobre 1894, avec une charge de 170 tonnes, cette machine partie de Toury avec un retard de 24 minutes est arrivée aux Aubrais avec le même retard, n'ayant pu par conséquent gagner une seule minute sur un parcours de 30 kilomètres environ. Ce qui tendrait à prouver que les locomotives à distribution ordinaire pour des trains à vitesse nominale de 75 kilomètres à l'heure et avec les charges actuelles, sont bien près de leur limite de puissance, tandis que la locomotive n° 332, avec les mêmes charges, a pu, lorsque cela était nécessaire, marcher à 108 kilomètres à l'heure, approchant ainsi de très près la limite de vitesse de 110 kilomètres permise par l'instruction en vigueur à la compagnie d'Orléans.

(b) *Résumé des résultats obtenus avec les indicateurs de Watt pour déterminer les travaux faits dans les cylindres des locomotives 337 et 332.* — Voici les résultats généraux obtenus (tableau n° 3):

Le travail produit par 1 gramme de vapeur est en moyenne de :

Pour la locomotive 337 :

31 ^{cm} ,32	pour des travaux dans chaque cylindre variant de	4.300 à	5.300 ^{cm}
31	,66	id.	id.
			5.300 à 6.500
31	,22	id.	id.
			6.500 à 10.000
31	,40	pour la moyenne générale des diagrammes considérés.	

Pour la locomotive 332 :

36 ^{kg} ,41	pour des travaux dans chaque cylindre variant de 4.200 à 5.300 ^{kg} sm
35 ,08	id. id. 5.300 à 6.500
34 ,12	id. id. 6.500 à 10.100
31 ,66	pour la moyenne générale des diagrammes considérés.

De la comparaison, il ressort que l'économie de la locomotive n° 332 sur la locomotive n° 337 est de :

16,25 p. 100	d'après la moyenne des diagrammes indiquant dans chaque cylindre et par tour de roues, des travaux variant de 4 200 à 5 300 ^{kg} sm ;
10,8 p. 100	pour des travaux variant de 5 300 à 6 500 kilogrammètres ;
9,2 p. 100	id 6 500 à 10 000 —

Ces résultats concordent très bien avec ceux qui ont été obtenus avec les wagons dynamométriques. Ceux-ci, en effet, accusent une économie de 11,19 p. 100 de la locomotive 332 sur la locomotive 337, mais pour la marche complète du train qui comporte les travaux à forte admission aussi bien que les travaux à faible admission. Or, d'après les prévisions, ces derniers seuls devaient présenter une économie sensible ; c'est cette économie qui est indiquée 16,25 p. 100 pour les travaux à faible admission.

Je termine par une observation qui, à mon avis, a une importance capitale.

Les expériences qui précèdent ont été faites avec des machines timbrées toutes deux à 10 kilogrammes, c'est-à-dire à la pression qui, il y a quelques années, n'était guère dépassée. Aujourd'hui que l'on a des pressions beaucoup plus élevées, il est indubitable que les résultats économiques qui seraient obtenus avec la distribution dont je viens de parler seraient notablement plus élevés. Il suffit d'ailleurs d'établir des diagrammes comparatifs de l'utilisation de la vapeur aux pressions de 10 et de 15 kilogrammes pour montrer que le timbre de 15 kilogrammes seul assure une économie de 14 à 15 p. 100 sur le timbre de 10 kilogrammes.

TABLEAU N° 1.
DÉTERMINATION DES DÉPENSES D'EAU.

DATES	NUMÉROS		DÉPART		ARRIVÉE		POIDS d'eau en moins dans la chaudière à l'arrivée	VOLUME d'eau du tender en moins à l'arrivée	DÉPENSE totale d'eau pour chaque train
	des machines	des trains	Pression dans la chaudière	Poids d'eau dans la chaudière	Pression dans la chaudière	Poids d'eau dans la chaudière			
29-9-94	332	5	10 ^{kg} 3/4	4 133 ^{kg}	10 ^{kg} 3/4	3 816 ^{kg}	287 ^{kg}	9 039 ^{lit}	9 326 ^{lit}
		28	11 1/2	4 045	8	3 689	356	11 398	11 754
		19	8 3/4	4 061	9 1/2	4 051	10	10 414	10 424
30-9-94	337	14	10 1/2	4 061	10 1/2	4 061	0	10 906	10 906
		19	10 3/4	4 058	9 1/4	4 081	-23	9 880	9 857
		14	9 1/2	4 223	9	3 759	464	10 668	11 132
1-10-94	332	5	10	4 327	10	3 828	499	8 897	9 396
		28	10	3 991	10	3 991	0	9 800	9 800
		19	10 1/4	4 233	8	3 514	719	8 405	9 124
2-10-94	337	28	8 3/4	4 113	8	3 396	717	9 533	10 270
		19	10	4 091	9	4 006	88	9 810	9 928
		14	10	4 042	9	4 006	36	12 710	12 746
3-10-94	332	19	10	3 828	8	3 746	82	10 086	10 168
		14	9	3 788	9	3 788	0	10 988	10 988
		5	10	4 413	5 1/2	3 672	741	9 717	10 458
3-10-94	337	28	11	4 224	8 3/4	3 384	840	11 234	12 074
		5	10 1/4	4 236	8 1/2	3 390	866	8 343	9 209
		28	10 1/4	4 186	6 1/2	3 422	761	10 332	11 096
4-10-94	332	19	10	4 093	9	3 442	651	8 631	9 285
		14	10	4 093	9	3 500	593	8 856	9 449
		5	10 1/2	3 984	8 1/2	3 567	417	9 266	9 683
4-10-94	337	14	10 1/2	4 061	8	3 396	665	8 015	8 680
		5	10 3/4	4 382	9	3 501	881	8 077	8 958
		28	10	4 191	9	3 443	748	9 430	10 178
8-10-94	332	5	9 3/4	4 265	6	3 578	687	8 015	8 702
		28	10 1/2	4 010	9	3 382	628	8 405	9 033
		19	11 1/2	4 281	6	3 490	791	8 200	8 991
9-10-94	337	14	11 1/4	4 264	9 3/4	3 433	831	7 749	8 580
		19	9 3/4	4 021	6 3/4	3 567	454	9 409	9 863
		14	9 1/4	4 035	9	3 382	633	7 151	7 807
10-10-94	332	5	11 1/4	4 351	6 3/4	3 656	695	8 282	8 977
		28	11	4 313	9 1/2	3 465	818	8 446	9 294
		5	10 1/4	4 138	10 1/4	3 425	713	8 700	9 413
11-10-94	337	28	8 3/4	4 161	9 3/4	3 373	788	8 630	9 418
		19	10 3/4	4 274	11 1/4	3 529	745	9 266	10 011
		14	10 3/4	4 228	7	3 475	753	7 339	8 092
12-10-94	332	19	9 3/4	3 995	8 1/2	3 508	487	8 495	8 982
		14	10 1/4	4 012	8 1/2	3 420	592	8 150	8 742
		5	11	4 355	9	3 500	855	9 061	9 916
12-10-94	337	28	11 1/2	4 303	7 1/2	3 435	868	8 241	9 109
		5	9	4 300	10	3 457	843	9 819	10 662
		28	10	4 191	7	3 414	777	10 209	10 986
13-10-94	332	19	10	4 191	8 1/2	3 390	801	9 061	9 862
		14	10 1/2	4 184	6 1/2	3 482	702	10 348	11 050
		5	10	4 260	8 1/2	3 390	870	9 307	10 177
13-10-94	337	14	10	4 067	8 3/4	3 384	683	8 384	9 067
		5	10 1/4	4 344	9 1/2	3 317	1 027	8 979	10 006
		28	10	4 283	9 1/2	3 376	907	8 856	9 763

TABLEAU N° 2.
DÉPENSES COMPARATIVES D'EAU ET DE CHARBON PAR CHEVAL-HEURE

DATES des expériences	NUMÉROS des trains	VITESSE nominale	TONNAGE des trains en tonnes	NOMBRE des arrêts	DURÉE totale des arrêts	DURÉE réelle de marche	RÉGULATEUR ouvert		DÉPENSE totale d'eau	DÉPENSE d'eau par cheval-heure	DÉPENSE totale de charbon	DÉPENSE de charbon par cheval-heure	QUANTITÉ d'eau vaporisée par kilogramme de charbon
							Temps	Travail positif au crochet du tender en chevaux-vapeur					
Locomotive n° 332 avec distribution à tiroirs d'admission et d'échappement indépendants.													
29 sept. 1894.	5	75	177,786	"	min. sec.	min. sec.	secondes	chev.-vap.	litres	litres	kilogr.	kilogr.	litres
	28	70	249,870	4	19 48	113 20	5.543	388,20	11.754	19,66	1.580	2,592	7,58
30 —	19	75	150,950	3	14 43	96 "	5.091	326,70	9.857	21,33	1.500	3,246	6,57
	14	70	203,650	4	8 24	113 18	5.454	348,40	11.132	21,09	1.500	2,841	7,42
1 ^{er} oct. 1894.	5	75	167,916	"	"	100 38	5.545	280,60	9.124	21,40	1.158,5	2,680	7,875
	28	70	144,730	8	12 57	112 51	5.484	280,50	10.270	24,03	1.450	3,392	7,08
2 —	19	75	152,939	3	8 33	98 50	5.223	329,06	10.168	21,29	1.300	2,722	7,82
	14	70	189,210	6	10 21	109 45	5.302	313,90	10.988	21,68	1.450	2,862	7,58
3 —	5	75	167,970	"	"	100 28	5.488	287,30	9.209	21,02	1.200	2,739	7,67
	28	70	260,225	3	5 55	112 55	5.487	383,60	11.096	18,97	1.450	2,479	7,65
4 —	19	75	150,724	3	8 27	101 16	5.512	297,30	9.683	21,26	1.200	2,635	8,07
	14	70	168,700	6	10 39	113 39	5.502	273,40	8.680	20,77	1.026	2,435	8,46
8 —	5	75	173,475	"	"	100 8	5.613	270,02	8.702	20,66	1.100	2,612	7,91
	28	70	242,420	3	12 7	110 11	5.297	311,90	9.033	19,67	1.175	2,559	7,68
9 —	19	75	151,710	4	5 50	102 22	5.541	316,70	9.863	20,22	1.250	2,563	7,89
	14	70	167,240	4	12 29	113 1	5.172	251,70	7.807	21,58	942	2,603	8,28
10 —	5	75	170,780	4	" 3	100 42	5.425	288,40	9.413	21,65	1.150	2,645	8,18
	28	70	200,915	3	9 27	107 45	5.027	305,90	9.418	22,04	1.129	2,642	8,34
11 —	19	75	148,190	2	3 4	105 34	5.627	258,80	8.982	22,19	1.071	2,790	8,38
	14	70	159,710	4	8 55	109 11	5.212	248,70	8.742	21,13	1.000	2,766	8,74
12 —	5	75	177,275	5	3 52	109 32	5.665	324,40	10.662	20,88	1.350	2,644	7,89
	28	70	201,250	9	19 30	119 24	5.528	338,50	10.986	21,13	1.450	2,788	7,97
13 —	19	75	152,425	2	4 24	103 13	5.442	287,60	10.177	23,40	1.2085	2,779	8,42
	14	70	131,665	6	10 53	114 57	5.364	241,40	9.067	25,20	1.100	3,057	8,24
Totaux et moyennes			4.281,755	83	190 21	2.568 56	2.165'47"	303,28	231.139	21,30	20.064	2,737	7,81
A déduire pour contre-vapeur à raison de 30 litres par kilomètre								1.430	1.430	21,209	20.775	2,73	

658 ESSAIS COMPARATIFS FAITS A LA C^{ie} D'ORLÉANS

Locomotive n° 337 avec distribution à tiroir ordinaire à coquille.													
29 sept. 1894.	19	75	151,664	2	7 6	102 9	5.447	282,40	10.424	21,58	1.300	3,004	8,02
	11	70	184,445	8	19 12	119 18	5.410	303,40	10.906	23,91	1.380	3,027	7,90
30 —	5	75	178,782	"	"	100 19	5.489	268,30	9.396	22,96	1.150	2,810	8,17
	28	70	130,000	5	9 41	106 39	5.138	270,50	9.800	25,37	1.200	3,107	8,16
1 ^{er} oct. 1894.	19	75	151,125	2	5 "	102 12	5.403	268,80	9.928	24,20	1.250	3,047	7,94
	14	70	198,440	10	19 6	121 48	5.794	318,40	12.716	24,86	1.500	2,926	8,49
2 —	5	75	167,251	"	"	100 57	5.516	268,70	10.458	25,25	1.126	2,719	9,28
	28	70	262,955	4	20 57	121 22	5.889	355,30	12.074	20,77	1.670	2,872	7,23
	19	75	150,275	2	4 36	104 36	5.504	257,30	9.285	23,59	1.056	2,683	8,79
3 —	14	70	192,145	4	6 52	113 44	5.472	271,20	9.449	22,90	1.150	2,789	8,21
	5	75	166,483	"	"	100 30	5.412	269,20	8.958	22,12	1.109	2,739	8,07
4 —	28	70	234,580	3	7 38	108 47	5.327	331,00	10.178	20,59	1.300	2,630	7,83
	19	75	153,760	2	5 18	104 39	5.540	251,60	8.991	22,94	1.150	2,934	7,81
8 —	14	70	161,770	4	8 52	116 1	5.516	200,20	8.580	27,81	917	2,973	9,35
	5	75	170,980	"	"	101 30	5.456	261,01	8.977	22,69	1.050	2,653	8,55
9 —	28	70	232,640	3	9 24	109 18	5.194	286,70	9.294	22,46	1.050	2,538	8,85
	19	75	162,515	2	3 49	103 9	5.551	270,90	10.011	23,96	1.300	3,111	7,70
10 —	14	70	137,525	4	7 51	113 56	5.299	192,20	8.092	28,59	958	3,385	8,41
	5	75	168,580	"	"	101 54	5.742	256,10	9.916	24,27	1.200	2,937	8,26
11 —	28	70	195,040	3	8 54	108 51	5.278	262,80	9.109	23,63	1.150	2,984	7,92
	19	75	150,530	5	15 53	115 34	5.921	288,50	9.862	22,83	1.200	2,829	8,22
12 —	14	70	160,815	8	22 13	124 26	5.772	267,05	11.050	25,80	1.300	3,036	8,50
	5	75	169,140	"	"	100 48	5.567	267,03	10.006	24,23	1.250	3,027	8,00
13 —	28	70	200,925	4	11 6	109 6	5.166	295,70	9.763	23,00	1.300	3,062	7,51
Totaux et moyennes			4.244,315	75	193 31	2.611 36	2.198'53"	272,74	237.253	23,73	20.016	2,902	8,17
A déduire pour contre-vapeur à raison de 30 litres par kilomètre								916	916	"	113	2,891	
								236.337	23,644	28.903	2,891		

SUR DES LOCOMOTIVES.

Rapports : $\frac{23.614}{21.263} = 1,1119$ Economie d'eau en faveur de la locomotive n° 332 = 11.19 p. 100.
 $\frac{2.891}{2.720} = 1,0628$ — de charbon — = 6,28 —

NOTA. — Il n'a pas été fait de défalcation pour la pompe à air du frein continu, pour les amorçages des injecteurs et les arrosages de combustible.

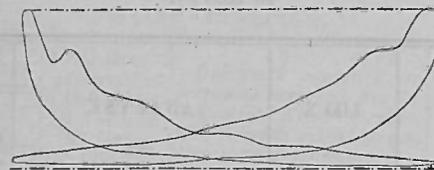
TABLEAU N° 3.

TRAVAUX ET DÉPENSES DE VAPEUR INDIQUÉS PAR LES DIAGRAMMES
RELEVÉS A L'INDICATEUR DE WATT.

NOMBRE de di- grammes	LOCOMOTIVE N° 332 AVEC DISTRIBUTION A TROIS D'ADMISSION ET D'ÉCHAPPEMENT INDÉPENDANTS				LOCOMOTIVE N° 337 AVEC DISTRIBUTION A TIROIR ORDINAIRE A COQUILLE				ÉCONOMIE de la machine 332 sur la machine 337 en pour 100
	VITESSE en kilomètres à l'heure	DÉPENSE moyenne de vapeur indiquée par les diagrammes	TRAVAIL KILOGRAMMÉTRIQUE indiqué par les diagrammes	pour 1 grammme de vapeur	VITESSE en kilomètres à l'heure	DÉPENSE moyenne de vapeur indiquée par les diagrammes	TRAVAIL KILOGRAMMÉTRIQUE indiqué par les diagrammes	pour 1 grammme de vapeur	
23	km. de 72 à 95	gr. 136,105	kgm. Minimum 4.180,530 Moyen 4.935,995 Maximum 5.240,460	kgm. Minimum 32,48 Moyen 36,41 Maximum 39,64	km. de 72 à 95	gr. 159,53	kgm. Minimum 4.338,117 Moyen 4.997,350 Maximum 5.322,100	kgm. Minimum 23,39 Moyen 31,32 Maximum 38,30	p. 100 16,25
64	de 70 à 97	168,206	Minimum 5.320,568 Moyen 5.902,120 Maximum 6.485,080	Minimum 30,33 Moyen 35,08 Maximum 42,08	de 70 à 98	187,42	Minimum 5.330,700 Moyen 5.935,593 Maximum 6.498,920	Minimum 23,27 Moyen 31,66 Maximum 39,06	10,8
82	de 50 à 96	228,356	Minimum 6.507,600 Moyen 7.680,820 Maximum 10.121,450	Minimum 27,95 Moyen 34,42 Maximum 40,76	de 50 à 90	243,366	Minimum 6.519,480 Moyen 7.398,031 Maximum 9.949,900	Minimum 23,43 Moyen 31,22 Maximum 37,66	9,2
Moyennes générales pour 169 diagram.				34,36		210,772	6.614,501	34,38	10,45

Spécimen d'un diagramme relevé sur la locomotive 337
à distribution ordinaire.Trains 19 du 12 octobre 1891 de Paris à Orléans.
(13 voitures. — 150 tonnes.)

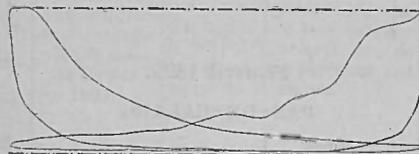
Poteau	103	
Marche avant.	Pression chaudière	10 ^k e,5
	Admission	13 p. 100
	Vitesse	86 ^{km}
	Régulateur ouvert	en grand
Échappement	cran 3	



Travail kilogrammétrique total	4.960 ^{kgm} ,80
— — — — — pour 1 ^{er} de vapeur	29,31

Spécimen d'un diagramme relevé sur la locomotive 332
à quatre distributeurs.Trains 5 du 1^{er} octobre 1894 de Paris à Orléans.
(14 voitures. — 168 tonnes.)

Poteau	81	
Marche avant.	Pression chaudière	10 ^k e,1
	Admission	10 p. 100
	Vitesse	83 ^{km}
	Régulateur ouvert	aux 4/5
Échappement	cran 4	



Travail kilogrammétrique total	4.941 ^{kgm} ,10
— — — — — pour 1 ^{er} de vapeur	35,54

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS ARRIVÉS DANS LES MINES ET CARRIÈRES.

Extrait des rapports du ministre de l'intérieur, approuvés par le Président de la République en 1895 (*).

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.	
			MÉDAILLES en or. en argent.	MENTIONS honorables.
27 mars 1895.				
NORD.				
DELPLANQUE (Zéphir), ouvrier mineur, à Anzin.			2 ^e	Mention honorable.
ROBIAUD, Ingénieur divisionnaire.				
DURAUD, Ingénieur principal.	Mines de houille d'Anzin.	Se sont particulièrement distingués en portant secours à un ouvrier mineur enseveli sous un éboulement.		Id.
MOREAU (Hilaire), délégué à la sécurité des ouvriers mineurs.	(24 novembre 1894.)			Id.
MORCHIPONT (Jules), chef porion.				Id.
BRISARD (Désiré), porion au même lieu.				Id.
27 avril 1895.				
PAS-DE-CALAIS.				
DUCCROCQ (Louis), chef porion aux mines de Marles (déjà titulaire d'une médaille en argent de 2 ^e classe).	Mines de Marles.	S'est de nouveau distingué en sauvant un ouvrier enseveli sous un éboulement.	1 ^{re}	

(* Cet état fait suite à celui qui a été publié dans le 2^e volume de 1893, p. 666. (Aucune récompense honorifique n'a été décernée en 1891, à l'occasion d'accidents de mines ou de carrières.)

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.	
			MÉDAILLES en or. en argent.	MENTIONS honorables.
27 mai 1895.				
MAINE-ET-LOIRE.				
REBONDY (Paul), carrier à Chênehutte-les-Tuffeaux.			2 ^e	
REBONDY (Auguste), carrier au même lieu.			2 ^e	
REBONDY (Maurice), id.			2 ^e	
LAURIOUX (Pierre), charretier à Trèves-Cunault.	Carrières souterraines à Chênehutte-les-Tuffeaux. (23 février 1895.)	Ont porté secours à des personnes surprises par l'éboulement d'une carrière. MM. Rebondy ont été blessés dans cette circonstance.		Mention honorable.
17 août 1895.				
PAS-DE-CALAIS.				
DRUELLE (Adolphe), porion aux mines de Lens.	Mines de houille de Lens.			Mention honorable.
CHÉTEUR (Jules), chef de coupe aux mines de Lens.	(5 janvier 1895.)	Ont sauvé un ouvrier mineur sur le point d'être écrasé par un éboulement.		Id.
26 septembre 1895.				
SAÔNE-ET-LOIRE.				
DUCCAROUGE (François), maître mineur.			1 ^{re}	
BERTHELON (Claude), surveillant.			2 ^e	
LAPRET (Michel), mineur.			2 ^e	
CHAMBODU (Pierre), mineur.				Mention honorable.
CHAMBODU (Jean), dit Fils, mineur.	Mines de Montceau-les-Mines.	Se sont particulièrement distingués par leur courage et leur dévouement lors de la catastrophe survenue aux mines de Montceau.		Id.
RIGOLLET (Antoine), mineur.	(4 février 1895.)			Id.
DESSOLIN (Pierre), encaveur.				Id.
DUCÈVRE (Claude), maître mineur.				Id.
VERVAY (Jules), encaveur.				Id.

**STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE
EN 1894.**

I. — Charbonnages.

1° *Exploitation.* — La production houillère de la Belgique a été, en 1894, de 20.534.501 tonnes, d'une valeur totale de 191.292.100 francs. Ces résultats, comparés à ceux de 1893 (*), accusent une augmentation de 1.423.982 tonnes et de 9.886.200 fr.

Cette extraction s'est répartie comme suit entre les districts houillers :

	Tonnes.	Francs.
Hainaut	15.016.050	139.319.600
Namur	506.080	3.637.900
Liège	5.012.371	48.334.600
Totaux	20.534.501	191.292.100

La valeur moyenne de la tonne a diminué de 2 centimes et est ressortie à 9^f,32.

— L'effectif du personnel ouvrier s'est élevé à 117.103 travailleurs, soit 242 de plus qu'en 1893; en voici la répartition :

		OUVRIERS	
		à l'intérieur	à la surface
Hommes et garçons	au-dessus de 16 ans	78.993	20.462
	de 14 à 16 ans	4.367	1.459
	de 12 à 14 ans	1.573	1.131
Femmes et filles	au-dessus de 21 ans	512	1.611
	de 16 à 21 ans	1.076	3.703
	de 12 à 16 ans	»	2.186
Totaux	86.551	30.552	
		117.103	

Depuis l'année 1894, qui a précédé celle de la mise en vigueur dans les mines de la loi du 13 décembre 1889 sur le travail, le

(*) Voir pour la Statistique de 1893, *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1895, p. 129.

nombre des femmes et des filles occupées à l'intérieur des travaux a diminué de 2.073 unités. 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 dans le même laps de temps de 2.670 (32 p. 100).

Au contraire le nombre des garçons de 12 à 14 ans et celui des filles de 16 à 21 ans, occupés à la surface, ont augmenté respectivement de 14 et de 4 p. 100.

La production par ouvrier du fond a été de 237 tonnes, soit 12 tonnes de plus qu'en 1893.

La production par ouvrier du fond et de la surface réunis a été de 175 tonnes, 9 de plus que l'année précédente.

Ces augmentations résultent uniquement de l'absence de grèves en 1894, et de l'augmentation du nombre total de journées de travail qui en a été la conséquence, car la production journalière moyenne par ouvrier n'a pour ainsi dire pas varié.

Le montant des salaires s'est élevé, en 1894, à la somme de 110.169.800 francs, ce qui établit le salaire annuel moyen de l'ouvrier, sans distinction de travail ni de sexe, à 941 francs, 54 de plus qu'en 1893. En réalité, si l'on déduit les retenues pour les institutions de prévoyances, certaines consommations et les amendes, ce salaire se réduit à 926 francs, et le salaire journalier moyen, à raison de 298 jours de travail, à 3^f,11. Par rapport à l'année précédente, le salaire annuel net s'est accru de 5,9 p. 100, et le salaire journalier de 1,6 p. 100.

Le salaire journalier net de 3^f,11 se décompose comme suit :

Ouvriers de la surface	2 ^f ,42
Ouvriers du-fond	3 ^f ,25

— Si l'on distingue les exploitations qui ont présenté des excédents de recettes ou de dépenses, on trouve qu'il y a eu :

71 charbonnages en gain, avec un boni de	11.636.400 francs
51 — en perte, avec un déficit de	3.538.600 —

Soit une différence en faveur des recettes de 8.097.800 francs

2° *Mouvement commercial des combustibles.* — Le mouvement commercial des combustibles en Belgique, durant l'année 1894, se résume dans les chiffres suivants :

		Tonnes.	
Production		20.534.501	
Importation	Houille	1.377.009	} 1.824.676
	Briquettes	4.317	
	Coke	326.188	
Exportation	Houille	4.539.525	} 6.251.928
	Briquettes	573.463	
	Coke	879.278	
Consommation		16.107.249	

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 90 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 1894, a été la suivante :

	Tonnes.	Francs.
Minerais de fer	311.222	valant 1.582.200
Minerais de plomb	160	16.900
Minerais de zinc	11.585	578.500
Pyrite	3.050	29.900
Manganèse	22.048	277.700

Représentant une valeur totale de 2.485.200

Cette valeur est supérieure de 105.400 francs à celle de l'année précédente.

L'effectif du personnel ouvrier a été de 2.199 individus, ne comprenant ni femmes, ni filles, et seulement quelques enfants.

III. — Carrières.

Le tableau ci-dessous indique, pour l'année 1894, les quantités et les valeurs des produits extraits des carrières belges :

	QUANTITÉS	VALEURS
Pierres de taille	133.094 m. cubes.	10.245.500 fr.
Chaux, moellons et pierrailles	2.586.305 m. cubes.	10.445.000
Pierres à paver	84.309.000 pièces.	7.208.300
Dalles et carreaux	96.109 m. carrés	261.100
Marbre	11.849 m. cubes.	1.918.800
Ardoises	32.011.000 pièces.	1.091.300
	475 m. cubes.	16.100
A reporter		31.189.400 fr.

	Report.	31 189.400 fr.
Pierres à faux et à rasoir	87.000 pièces.	36.800
Castine	77.900 m. cubes.	224.900
Terres plastiques	172.010 tonnes.	1.205.800
Marne et craie	33.700 m. cubes.	123.700
Sable	374.705 m. cubes.	708.200
Silex pour faïencerie	28.620 m. cubes.	174.300
Silex, gravier et pierrailles pour empiècement	6.640 m. cubes.	15.900
Terres ocreuses et autres pour couleurs	250 m. cubes.	5.000
Sulfate de baryte	40.000 tonnes.	280.000
Feldspath	2.150 m. cubes.	17.800
Phosphate de chaux	371.776 m. cubes.	4.396.500

Représentant une valeur totale de 38.380.300 fr.

La valeur de la production des carrières est inférieure de 3.052.700 francs à celle de 1893. La diminution a porté principalement sur les pierres de taille, les pavés et le marbre.

Il y a eu 1.598 carrières en exploitation, comprenant dans leur ensemble 1.169 sièges à ciel ouvert et 639 sièges souterrains, et occupant 28.977 ouvriers.

IV. — Métallurgie.

Les usines métallurgiques sont réparties en cinq groupes :

1° Hauts fourneaux.

Nombre d'usines (actives)	17
Nombre de hauts fourneaux (actifs)	30
Nombre d'ouvriers	2.324
Production en fonte	818.597 tonnes.
Valeur de la production	40.828.100 francs.
Prix moyen de la tonne	49,85

2° Usines à fer.

Nombre d'usines (actives)	48
Nombre de fours à puddler (actifs)	371
— à réchauffer (id.)	158
— autres (id.)	201
Nombre d'ouvriers	13.651
Production en fers finis	453.290 tonnes.
Valeur de la production	57.589.300 francs.
Prix moyen de la tonne	127,05

3° Acieries.

Nombre d'usines (actives)	12
Nombre de fours Martin (actifs)	6
Nombre de convertisseurs (actifs)	14
Nombre de fours à réchauffer (actifs)	35

BIBLIOGRAPHIE

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1895 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BRAMY (E.). — Exercices méthodiques de calcul intégral. In-8°. Paris. 5 fr.
- CALINON (A.). — La Géométrie à deux dimensions des surfaces à courbure constante. In-8°, 47 p. av. fig. Paris, Berger-Levrault et C^{ie}; Gauthier-Villars et C^{ie}. 2^f, 50. (9425)
- DELASSUS (E.). — Sur les équations linéaires aux dérivées partielles à caractéristiques réelles (thèse). In-4°, 75 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12091)
- DUPORT (H.). — Mémoire sur les lois fondamentales de la mécanique. In-8°, 44 p. Dijon, imp. Darantière. (8926)
- FREYCINET (C. DE). — Essais sur la philosophie des sciences. Analyse; Mécanique. In-8°, xi-336 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 6 fr. (11436)
- GENAILLE (H.). — Le Calculateur Henri Genaille. In-8°, 5 p. av. fig. Paris, 28, rue Serpente. (*Assoc. franç. pour l'avanc. des sciences. Congrès de Caen.*) (5558)

(* 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.

- GREENHILL (A.-G.). — Les Fonctions elliptiques et leurs applications; par A.-G. Greenhill, professeur de mathématiques au collège d'artillerie de Woolwich. Traduit de l'anglais par J. Griess, professeur agrégé de mathématiques au lycée d'Alger. Avec une préface de M. P. Appell, membre de l'Institut. In-8°, xviii-574 p. av. fig. Paris, G. Carré. (6775)
- GUYOT (E.). — Simple exposé des relations à établir entre les équations et leurs racines. In-8°, v-85 p. Paris, May et Motteroz. (11886)
- HOEFER (F.). — Histoire des mathématiques depuis leurs origines jusqu'au commencement du XIX^e siècle. 4^e édition. In-16, iii-609 p. av. fig. Paris, Hachette et C^{ie}. 4 fr. (8237)
- KLIMASZEWSKI (J.). — Solution du problème de la quadrature du cercle. In-8°, 44 p. av. fig. Paris, imp. Reiff. (11220)
- KOENIGS (G.). — La Géométrie réglée et ses applications. (Coordonnées, Systèmes linéaires, Propriétés infinitésimales du premier ordre.) In-4°, 152 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12149)
- LAISANT (C.-A.). — Recueil de problèmes de mathématiques (Algèbre; Théorie des nombres; Probabilités; Géométrie de situation), à l'usage des classes de mathématiques spéciales. In-8°, x-274 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 6 fr. (10955)
- LAISANT (C.-A.) et E. LEMOINE. — Traité d'arithmétique; suivi de Notes sur l'orthographe simplifiée, par P. Malvezin, directeur de la Société philologique française. Gr. in-16, viii-174 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (7530)
- LAUR (F.). — Notice sur le Boudard Gear; avec un tableau des multiplications que l'on peut obtenir au moyen du Boudard. In-8°, 8 p. av. fig. Neuilly, imp. Desmares. (Extr. de l'*Echo des mines et de la métallurgie.*) (7777)
- LECHALAS (G.). — Étude sur l'espace et le temps. In-18 Jésus, 205 p. Paris, F. Alcan. (10958)
- MÉRAY (C.). — Leçons nouvelles sur l'analyse infinitésimale et ses applications géométriques. Deuxième partie: Étude monographique des principales fonctions d'une seule variable. In-8°, xi-495 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 14 fr. (7572)
- RESAL (H.). — Traité de mécanique générale, comprenant les leçons professées à l'École polytechnique. 2^e édition, entièrement refondue. T. II: Du mouvement des solides eu égard aux frottements; Équilibre intérieur; Élasticité; Hydrostatique; Hydrodynamique; Hydraulique. In-8°, xi-166 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 3 fr. (7604)

- SAINT-GERMAIN (A. DE). — Sur un problème relatif au frottement. In-8°, 7 p. av. fig. Caen, imp. H. Delesques. (Extr. des *Mém. de l'Acad. nat. des sciences, arts et belles-lettres de Caen.*) (9087)
- SAUVAGE (L.). — Théorie générale des systèmes d'équations différentielles linéaires et homogènes. In-4°, 184 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11538)
- STIELTJES (T.-J.). — Essai sur la théorie des nombres. Premiers éléments. (Sur la divisibilité des nombres; Des congruences; Équations linéaires indéterminées; Système des congruences linéaires.) In-4°, 409 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12236)
- STURM (C.). — Cours d'analyse de l'École polytechnique. Revu et corrigé par E. Prouhet, répétiteur d'analyse à l'École polytechnique, et augmenté de la Théorie élémentaire des fonctions elliptiques, par H. Laurent. 10^e édition, revue et mise au courant du nouveau programme de la licence par A. de Saint-Germain, professeur à la Faculté des sciences de Caen. 2 vol. in-8° av. fig. T. I, xxxi-563 p.; T. II, x-657 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 15 fr. (11545)
- TANNERY (J.) et J. MOLK. — Éléments de la théorie des fonctions elliptiques. T. II : Calcul différentiel (deuxième partie). In-8°, vi-299 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12238)
- VAUCHER (A.-E.). — Quadrature du cercle trouvée. In-plano av. fig. Lyon, imp. Maisonneuve. (6474)
- VOGT (H.). — Leçons sur la résolution algébrique des équations. Avec une préface de M. Jules Tannery, directeur des études scientifiques à l'École normale supérieure. In-8°, viii-201 p. Paris, Nony et C^{ie}. (11308)

2^o Physique et Chimie.

- AGLOT (E.). — Dosages rapides. Exposé des principes de la méthode optique d'analyse chimique, système E. Aglot, ingénieur. Tannin; Vins; Phosphates; Urines, etc. Conférence faite à la Société agricole, industrielle et scientifique de Lyon en mars 1895. In-8°, 12 p. Marseille, Imp. Marseillaise. (7165)
- BARRAL (E.). — Recherches sur quelques dérivés surchlorés du phénol et du benzène (thèse). In-8°, 129 p. Lyon, imp. Legendre et C^{ie}. (6262)
- BRUN (C.). — Études sur la théorie mécanique de la chaleur. In-8°, 54 p. Paris, Baudoin. (Extr. de la *Revue maritime et coloniale.*) (9202)
- BRUNHES (B.). — Cours élémentaire d'électricité. Lois expérimentales et Principes généraux; Introduction à l'électrotechnique. Leçons professées à l'Institut industriel du nord de la France. In-8°, vii-267 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (7475)
- Conférence de chimie faites au laboratoire de M. Friedel (1893-1894). 3^e fascicule. In-8°, 345 p. av. fig. Paris, G. Carré (10863)
- GROVA (A.). — Description d'un hygromètre à condensation intérieure. In-8°, 4 p. av. fig. Paris, imp. Pichon. (Extr. du *Journal de physique.*) (9689)
- CURIE (P.). — Propriétés magnétiques des corps à diverses températures (thèse). In-8°, 123 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10868)
- DELEMER (J.). — Sur le mouvement varié de l'eau dans les tubes capillaires cylindriques évasés à leur entrée, et sur l'établissement du régime uniforme dans ces tubes (thèse). In-8°, 83 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10874)
- DEMARÇAY (E.). — Spectres électriques. In-4°, vi-91 p. et atlas gr. in-4° de 10 pl. Paris, Gauthier-Villars et fils. (7495)
- 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. II. Fascicules 22 à 24. In-8° à 2 col., p. 81 à 320. Paris, Hachette et C^{ie}. Chaque fascicule. 2 fr. (6049)
- T. II. Fascicule 25. In-8° à 2 col., p. 321 à 400. Paris, Hachette et C^{ie}. Chaque fascicule, 2 fr. (11643)
- DRINCOURT (E.). — Cours de physique à l'usage des candidats à l'École centrale des arts et manufactures et des candidats aux écoles des mines et des ponts et chaussées. In-8°, viii-560 p. av. fig. Paris, Colin et C^{ie}. (10882)
- Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Fremy, de l'Institut. T. IX : Chimie organique. 2^e section : Chimie physiologique. 2^e fascicule : Chimie des liquides et des tissus de l'organisme (troisième partie, 1); par les docteurs Garnier, professeur à la Faculté de médecine de Nancy, *Lambling*, professeur à la Faculté de médecine de Lille, *Schlagdenhauffen*, directeur de l'École supérieure de pharmacie de Nancy. In-8°, 440 p. av. fig. Paris, V^o Dunod et P. Vicq. 17^f, 50. (8682)
- ESTAUNIÉ (E.). — Les sources d'énergie électrique. In-8°, 348 p. av. fig. Paris, May et Motteroz. (10672)

- ETAIX (L.). — Contribution à l'étude de quelques acides bibasiques. In-8°, 64 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10895)
- FOUSSEREAU (G.). — Leçons de physique. Optique. In-8° avec 300 fig. Paris. 12 fr.
- GAUTIER (A.). — Cours de chimie minérale, organique et biologique. 2^e édition, revue et mise au courant des travaux les plus récents. Chimie organique. In-8°, xxi-672 p. av. 72 grav. Paris, G. Masson. (40680)
- GERBER (M.). — Nouveaux procédés et appareils pour la concentration de l'acide sulfurique. In-8°, 4 p. Clermont-Ferrand, imp. Mont-Louis. (Extr. du *Moniteur scientifique du docteur Quesneville*.) (11871)
- GRÉHANT (N.). — Sur les produits de combustion des charbons de l'arc électrique; Ventilation par le gaz. In-8°, 3 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. nat.*) (6776)
- HOULLEVIGUE (L.). — De l'influence de l'aimantation sur les phénomènes thermo-électriques. In-8°, 75 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (40934)
- JOANNIS (A.). — Traité de chimie organique appliquée. T. I : Généralités, carbures, alcools, phénols, éthers, aldéhydes, cétones, quinones, sucres. In-8°, 692 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 20 fr. (12147)
- LE DANTEC (L.-M.). — La physique de l'électricité. In-8°, 336 p. av. 200 fig. Paris. 7 fr.
- LENORMAND (C.). — Cours de chimie analytique, à l'usage des candidats à la licence ès sciences physiques. Première partie : Tableaux d'analyse qualitative; Notes recueillies par M. *Huchedé*. In-4°, 24 p. Tours, imp. Juliot. (12752)
- LIMB (C.). — Mesure directe des forces électromotrices en unités absolues électro-magnétiques (thèse). In-4°, vii-120 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10970)
- MANEUVRIER (G.). — Nouvelle méthode de détermination du rapport $\frac{C}{c}$ pour l'air et d'autres gaz. In-4°, vii-227 p. av. fig. et tableaux. Paris, Gauthier-Villars et fils. (10977)
- MANGON (E.). — Le Courant électrique différentiel. In-8°, 27 p. Reims, imp. Malot. (9004)
- MARIE (T.). — Recherches sur les acides cérotique et mélistique (thèse). In-4°, viii-107 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (40978)
- MENDÉLÉEFF (D.). — Principes de chimie; par M. *Dimitri Mendéléeff*, professeur de chimie à l'Université impériale de Saint-

- Pétersbourg. Traduit du russe par M. *E. Achkinasi*, docteur en médecine, et M. *H. Carrion*, chef de laboratoire à l'hôpital Saint-Antoine. Avec préface de M. le professeur *Armand Gautier*, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie de médecine. 1^{er} volume. In-16, 589 p. av. fig. Paris, Tignol. (5654)
- NEYRENEUF. — Expériences d'acoustique. In-8°, 12 p. Caen, H. Delesques. (Extr. des *Mém. de l'Acad. nat. des sciences, arts et belles-lettres de Caen*.) (9032)
- PERREAU (F.). — Étude expérimentale de la dispersion et de la réfraction des gaz (thèse). In-4°, 65 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11010)
- POINCARÉ (H.). — Cours de physique mathématique. Capillarité. Leçons professées pendant le deuxième semestre 1888-1889. Rédigées par *J. Blondin*, agrégé de l'Université. In-8°, 195 p. av. fig. Paris, G. Carré. (6437)
- Cours de physique mathématique. Théorie analytique de la propagation de la chaleur. Leçons professées pendant le 1^{er} semestre 1893-1894. Rédigées par MM. *Rouyer* et *Baire*, élèves de l'École normale supérieure. In-8°, 320 p. av. fig. Paris, G. Carré. (7593)
- QUESNEVILLE (G.). — De la double réfraction elliptique et de la tétraréfringence du quartz dans le voisinage de l'axe In-8°, 34 p. av. fig. et pl. Paris, bureaux du *Moniteur scientifique*, 12, rue de Buci. (10754)
- SIDERSKY (D.). — Polarisation et Saccharimétrie. In-16, 152 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2^e, 50. (11544)
- SIMON (L.). — Action des amines aromatiques primaires sur quelques composés cétoniques dissymétriques (thèse). In-8°, 113 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12230)
- TELMON (H.). — Études des transformations subies par les chlorures de mercure au contact de quelques substances inorganiques et organiques (thèse). In-8°, 95 p. Montpellier, imp. Boehm. (9827)
- THOMAS-MAMERT (R.). — Sur l'application de la stéréochimie aux réactions internes entre les radicaux éloignés d'une même molécule. In-8°, 64 p. av. fig. Paris, G. Carré. (11295)
- VASCHY (A.). — Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques, fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement. In-8°, xii-334 p. Paris, Baudry et C^{ie}. (12005)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- ACY (E. D.). — Quelques observations relativement au gisement interglaciaire de Villefranche. In-8°, 8 p. Beaugency, imp. Laffray. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'anthropologie de Paris.*) (12500)
- BLEICHER. — Sur les ossements fossiles d'une fissure de la carrière de Villey-Saint-Étienne. In-8°, 3 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^{ie}. (Extr. du *Bull. des séances de la Soc. des sciences de Nancy.*) (9413)
- BOULE (M.). — Notes sur les fossiles rapportés de Madagascar par M. E. Gautier. In-8°, 7 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. nat.*) (7474)
- Carte du bassin houiller du Pas-de-Calais (région levant), à l'échelle de 1/40.000 (août 1895), par A. Soubeiran. Paris, Erhard frères. (1243)
- Carte géologique de la Gironde, dressée par V. Raulin, professeur à la Faculté des sciences, d'après son esquisse du 20 décembre 1848. Bordeaux, Férét et fils. (1043)
- Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80.000. Feuille n° 12 : Amiens (Arras), avec notice explicative. Prix : 6 fr. Paris, Imprimerie nationale. (881)
- Feuille n° 63 : Melun (Paris). — Feuille n° 70 : Lunéville (Sarrebouurg). Avec notices explicatives. Chaque feuille, 6 fr. Paris, imp. Erhard frères. (882)
- Feuille n° 149 : Saint-Claude (Lons-le-Saulnier), avec notice explicative. Prix 6 fr. Paris, imp. Lemercier et C^{ie}. (883)
- Carte tectonique des hautes chaînes calcaires de Savoie, à l'échelle de 1/320.000, par E. Haug. Paris, imp. Erhard frères. (1259)
- COSSMANN. — Essais de paléonchologie comparée. 1^{er} fasc. In-8°, 159 p., 7 pl. Paris, Comptoir géologique. 15 fr.
- DESPLANTES (F.). — Les Tremblements de terre. Gr. in-8°, 143 p. av. fig. Limoges, Ardant et C^{ie}. (12347)
- FALLOT (E.). — Notice relative à une carte géologique des environs de Bordeaux. In-8°, 47 p. et tableau. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (9708)
- GAUTIER (E.). — Sur les terrains sédimentaires de Madagascar. In-8°, 3 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. nat.*) (7525)
- GAUTIER (P.). — Notice sur un gisement nouveau de bournonite. In-8°, 3 p. et 1 pl. Clermoud-Ferrand, imp. Mont-Louis. (6076)

- GERMAIN (J.-M.). — Notes sur l'origine de la formation du lac d'Annecy. In-8°, 14 p. Annecy, imp. Abry. (3561)
- JEANJEAN (A.). — Excursions géologiques aux environs d'Anduze. In-8°, 15 p. Nîmes, imp. V^e Laporte. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'étude des sciences nat. de Nîmes.*) (5598)
- LAPPARENT (A. DE). — Abrégé de géologie. 3^e édition, revue et en partie refondue. In-16, vii-299 p. av. 141 fig. et carte en coul. Paris, G. Masson. (10008)
- LETELLIER. — Constitution géologique de l'arrondissement d'Alençon. In-8°, 34 p. Caen, Delesques. (Extr. de l'*Annuaire normand.*) (12758)
- LIMUR (de). — Étude du gîte de Kergonnano au point de vue géologique, minéralogique et industriel. In-8°, 16 p. Vannes, imp. Galles. (Extr. du *Bull. de la Soc. polymathique du Morbihan.*) (7065)
- MEUNIER (S.). — La Géologie comparée. In-8°, 298 p. av. 35 fig. Paris, F. Alcan. (7365)
- MORGAN (J. de). — Mission scientifique en Perse. Études géologiques. II. Paléontologie, par Colteau, Douvillé, Gauthier. In-4°, av. 16 pl. Paris. 12 fr.
- PETITON (A.). — Géologie de l'Indo-Chine. In-8°, xvii-357 p. av. fig. et atlas in-4° de 8 pl. Paris, Imp. nationale. (12453)
- POMEL (A.). — Carte géologique de l'Algérie. Paléontologie; Monographies; les Bosélaphe Ray. In-4°, 61 p. et 11 pl. Alger, imp. Fontana et C^{ie}. (8785)
- RENAULT (B.). — Communication faite à la réunion de la Société d'histoire naturelle d'Autun du 22 avril 1895, sur quelques bactéries des temps primaires. In-8°, 40 p. av. fig. Autun, imp. Dejussieu père et fils. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun.*) (11526)
- RISLER (E.). — Géologie agricole. Première partie du cours d'agriculture comparée fait à l'Institut national agronomique. T. III (2^e fascicule). In-8°, p. 225 à 405 et pl. Paris, Berger-Levrault et C^{ie}; lib. agricole de la Maison rustique. (10304)
- ROLLAND (G.). — Hydrologie du Sahara algérien. Texte. Extrait des documents relatifs à la mission de Laghouat, El-Goléa, Ouargla, Biskra, publiés par le ministère des travaux publics. Rapport hydrologique. In-4°, 429 p. et planche. Paris, Chalmel. (6866)
- THURIET (A.). — Recherches géologiques sur le lias de la bordure sud-ouest du massif ardennais (thèse). In-8°, 223 p. av. fig. Charleville, imp. Anciaux. (6675)

4^e Mécanique appliquée et Machines.

- ALHEILIG et C. ROCHE. — Traité des machines à vapeur, rédigé conformément au programme du cours de machines à vapeur de l'École centrale. T. I. In-8°, xi-605 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8597)
- T. II. In-8°, xi-605 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 18 fr. (12017)
- BADOIS (E.). — De la construction des moteurs à pétrole exposés au palais de l'Industrie en février 1895, rapport présenté à la section de génie rural de la Société des agriculteurs de France. In-8°, 8 p. Paris, 8, rue d'Athènes. (6490)
- BEAUCORPS (H. de). — Traité élémentaire de machines à vapeur marines, ouvrage rédigé conformément aux programmes des examens (décret du 18 septembre 1893). In-8°, 450 p. av. fig. Paris, Challamel. (9184)
- BELLENS (C.). — Traité des chaudières à vapeur; Étude sur la vaporisation dans les appareils industriels. In-8°, xix-464 p. av. 215 fig. Paris, Baudry et C^{ie}. (6923)
- CHAPEL (A.). — Sur la loi de résistance de l'air. Application aux calculs balistiques. In-8°, 14 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^{ie}. (6292)
- Contrôle des machines à vapeur. In-8°, 7 p. Amiens, imp. Jeunet. (Extr. du *Bull. de l'Assoc. des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise.*) (12614)
- COSTA (J.). — Avantages de la force motrice par le gaz; Moteur Charon. In-8°, 23 p. av. fig. et pl. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (7239)
- DEMOULIN (M.). — Traité pratique de la construction des machines à vapeur fixes et marines. Résumé des connaissances actuellement acquises sur les machines à vapeur; Considérations relatives au type de machine et aux proportions à adopter; Détermination des dimensions et des proportions des principaux organes. In-8°, iii-435 p. Paris, Baudry et C^{ie}. (5534)
- DUBIAU (P.). — Effets dynamiques dans les explosions de chaudières. In-8°, 30 p. av. fig. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (10462)
- Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général

- du gouvernement français. Comité 15 (1^{er} volume) : la Mécanique générale américaine à l'Exposition de Chicago. Rapport de M. *Gustave Richard*, ingénieur civil des mines, commissaire-rapporteur. Grand in-8°, vii-634 p. av. fig. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (10444)
- Comité 15 (2^e volume) : les Machines à bois américaines. Rapport de M. *Antoine Vautier*, administrateur-gérant de la Société Dandoy-Mailliard, Lucq et C^{ie}, commissaire-rapporteur. Grand in-8°, 451 p. av. fig. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (10674)
- FONTAINE (H.). — Note théorique et pratique sur l'émulseur de vapeur (système Dubian). In-8°, 39 p. av. 6 grav. Paris, 114, boulevard Magenta. (5551)
- HAUTHUILLE (E. d'). — Les Moteurs à pétrole au concours régional d'Arles. In-8°, 41 p. et pl. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (12715)
- JANET. — Flexibles à chaîne construits par MM. Janet et C^{ie}. Notice. In-plano à 2 col. av. fig. Paris, 58 bis, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. de la *Revue industrielle.*) (6793)
- LAFFARGUE (J.). — Les applications mécaniques de l'énergie électrique. In-18, vii-366 p. av. 320 fig. Paris, Fritsch. (5848)
- MATHIEU (H.). — L'A B C du chauffeur. Avec une introduction par M. *C. Walckenaer*, ingénieur des mines. In-32, xlii-271 p. av. fig. Paris, Baudry et C^{ie}. (6139)
- MONTUPET (A.). — Cours pratique de chaudronnerie. Première partie : Chaudronnerie en fer. 3^e édition. In-8°, 268 p. av. fig. et 44 pl. Paris, l'auteur, 19 à 25, rue de la Voûte. (6160)
- Moteur à gaz Charon, nouveau type de trente chevaux, construit par la Société nouvelle des moteurs à gaz français. In-4° à 2 col., 4 p. av. fig. et pl. Paris, 58 bis, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. de la *Revue industrielle.*) (10254)
- POUSSART (A.). — Traité élémentaire de mécanique : moteurs, récepteurs et opérateurs. In-18, iii-503 p. av. fig. Paris, Garnier frères. (8050)
- Règlement relatif aux appareils à vapeur des bateaux naviguant dans les eaux maritimes (décret du 1^{er} février 1893). Programme des examens pour l'obtention des brevets des mécaniciens des bateaux à vapeur naviguant dans les eaux maritimes (Arrêté ministériel du 2 février 1893). In-8°, 34 p. Paris, Challamel. (5909)
- SEGUELA (R.). — Note sur l'épurateur Chapsal pour chaudières. Tome VIII, 1895. 43

- In-8°, 46 p. Paris, Baudry et C^{ie}. (Extr. du *Portefeuille économique des machines*.) (5925)
- SCHMIDT (E.). — Compte rendu de quelques essais de vaporisation faits en Allemagne. In-8°, 23 p. et pl. Amiens, imp. Jennet. (9094)
- SOSNOWSKI (K.). — La Turbine à vapeur de Laval. In-8°, 32 p. av. fig. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils de France*.) (8390)
- La Turbine à vapeur de Laval, communication faite à la Société scientifique et industrielle de Marseille, le 3 janvier 1895. In-8°, 17 p. av. fig. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*.) (8821)
- STAFFER (D.). — Les Billes et leur emploi dans les constructions mécaniques. In-8°, 43 p. av. fig. et pl. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (8824)
- THURSTON (R.-H.). — Études sur le frottement, le graissage des machines et les lubrifiants; Détermination des lois et des coefficients de frottement par de nouvelles méthodes et au moyen de nouveaux appareils, par Robert H. Thurston, professeur de mécanique à l'Institut technologique Stevens, etc. Traduction par M. B., revue et annotée par M. N. Jarry, ingénieur des arts et manufactures. 2^e édition française. In-16, 490 p. av. fig. Paris, Tignol. (7832)
- 5^e *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*
- ALLAIN (L.). — Note sur un procédé rapide et simple de stérilisation à froid des eaux de rivières destinées à la boisson. In-8°, 21 p. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*.) (12303)
- BISCONS. — Projet d'établissement d'une usine d'acide sulfurique et de produits chimiques agricoles. In-8°, 44 p. Toulouse, imp. Passeman et Alquier. (12305)
- BLONDEL (A.). — L'Éclairage public par les lampes à arc. 1^o Théorie de l'éclairage public. In-8°, 50 p. av. fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Anlin. (Extr. du journal *le Génie civil*.) (5499)
- DUBS (H.). — Application de l'électricité aux mines et travaux publics. In-8°, 20 p. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*.) (12651)
- DUCLAU. — Leçons populaires sur l'éclairage au gaz et la lampe

- de sûreté. Petit in-8°, 135 p. avec 8 grav. Limoges, Ardant et C^{ie}. (9451)
- DEMONT (G.) et G. BAIGNÈRES. — Étude sur le transport de l'énergie à grande distance par l'électricité et sur les transmissions électriques par courant continu. In-8°, vi-114 p. av. fig. Paris, Grelot. (Extrait du *Bull. de la Soc. des ingénieurs civils*.) (6052)
- DUPUY (P.). — Les Transformateurs d'énergie électrique. In-8°, 450 p. av. 450 fig. Paris, 7 fr.
- GANICHOT (P.). — Traité élémentaire de chimie photographique, ou Description raisonnée des diverses opérations photographiques. 2^e édition, revue et corrigée. In-18 jésus, 444 p. Paris, C. Mendel. (7286)
- GOSSART (E.). — Électricité industrielle. Cours fondé par la Société des amis de l'Université. 2^e année (1894-1895). Leçons sur la production industrielle de l'énergie électrique. Livraisons 1 à 20. In-8°, p. 1 à 304. Bordeaux, Laurens. 10 fr. (12698)
- GRANDEAU (L.). — Importance du nitrate de soude en agriculture; Quantités à donner aux terres pour les diverses récoltes (céréales, plantes sarclées, cultures industrielles, vignes, etc.); Époque et Mode d'emploi du nitrate; Résultats. In-8°, 14 p. Paris, imp. Pariset. (5817)
- HALLER (A.). — L'industrie chimique. In-18, 348 p. av. fig. Paris, J.-B. Baillièrre et fils. 5 fr. (7039)
- HOSPITALIER (E.). — Recettes de l'électricien, colligées et mises en ordre par E. H. In-18, vi-352 p. av. fig. Paris, G. Masson. (6786)
- LEDEBUR (A.). — Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer.; par A. Ledebur, professeur de métallurgie à l'École des mines de Freiberg (Saxe). Traduit de l'allemand par *Barbary de Langlade*, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur-civil des mines, maître de forges. Revu et annoté par F. Vallon, ingénieur civil des mines. T. II. In-8°, viii-695 p. av. fig. Paris, Baudry et C^{ie}. (5856)
- MALBOT (H.). — Chimie agricole. Recherches exécutées dans le département de Constantine en 1894. Rapport à M. le préfet, présenté le 12 octobre 1894. In-8°, 44 p. Constantine, imp. Braham. (12774)
- MAURIN (N.). — Théorie nouvelle sur le transport électrique de la force. In-18, 28 p. Paris, V^e Dunod et Vicq. (7362)
- MICHEL (G.). — Communication sur quelques procédés d'épuration et de stérilisation des eaux d'alimentation. In-8°, 23 p. et pl.

- Marseille. imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*.) (8772)
- MOLERAT (E.). — Métallurgie. Fonderie en fer de deuxième fusion. Manuel du fondeur-mouleur en fer. Études sur : 1° les fontes de moulage, analyses et mélanges; 2° l'installation et le matériel complet d'une fonderie de moyenne importance pour moulage en pièces mécaniques; 3° le moulage en terre; 4° le moulage au trousseau en sable; 5° le moulage en fonte trempée, etc. Grand in-8°, 115 p. et 68 pl. Epinal, imp. Fricotel. (9027)
- PIERART (A.). — L'Installation d'éclairage électrique de l'École spéciale militaire de Saint-Cyr. In-8°, 31 p. et pl. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}. (Extr. de la *Revue du génie militaire*.) (10059)
- SALANSON, MELON, MALLET. — Conférence sur les appareils d'utilisation du gaz. In-8°, 34 p. Paris, imp. Mouillot. (12464)
- SARRAU (E.). — Théorie des explosifs. In-8°, 92 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12227)
- SCHNABEL (C.). — Traité théorique et pratique de métallurgie (Cuivre, Plomb, Argent, Or); par C. Schnabel, professeur de métallurgie et de chimie technologique à l'Académie des mines de Clausthal (Harz). Traduit de l'allemand par le docteur L. Gautier. In-8°, xvi-831 p. av. 586 fig. Paris, Baudry et C^{ie}. (11755)
- TRUBERT (A.). — Analyse chimique des matières agricoles, des boissons fermentées, des vinaigres et des urines. In-8°, 131 p. Gap, Fillon et C^{ie}. (9125)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

- BECKER (H.). — L'or, les minerais aurifères, extraction et métallurgie de l'or. In-8°, av. 106 fig. Paris. 7 fr.
- Carte du grand bassin métallifère de l'Yonne, arrondissement de Joigny et d'Auxerre, à l'échelle de 1/200.000, par Le Breton-Dulier. Lille, imp. E. Boldoduc. (1206)
- Carte des champs d'or du Witwatersrandt dans les districts de Pretoria, Heibelberg, Potchefstroom (Transvaal), indiquant l'orientation et la position des filons aurifères ainsi que les concessions actuellement exploitées, dressée sous la direction de M. A. Oltramare, banquier à Paris, et sur les documents de ses ingénieurs et agents à Johannesburg (Transvaal), donnant notamment les dernières découvertes aurifères dans le sud-ouest du Randt. 1895. Paris, P. Sévin. (817)
- DE LA COUX. — L'or. Gîtes aurifères. Extraction et traitement du

- mineral. Emploi et analyse de l'or. Vocabulaire des termes aurifères. In-16, av. fig. Paris. 5 fr.
- Études des gîtes minéraux de la France, publiées sous les auspices de M. le Ministre des travaux publics par le service des topographies souterraines. Bassin houiller du Pas-de-Calais. Première partie : Sous-arrondissement minéralogique d'Arras; par A. Soubeiran, ingénieur des mines. Texte. In-4°, 348 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (8683)
- FAURE (J.). — Dictionnaire minier sud-africain anglais-français-allemand. In-8°, 344 p. Auxerre. Paris, l'auteur, 21, rue Vivienne. 3 fr. (10174)
- HAUPT (O.). — La mine de Huanchaca et l'avenir de l'argent. 2^e édition. In-8°, 54 p. Paris, Leroy. (5586)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

- CART (A.) et L. PORTES. — Calcul des ponts métalliques à poutres droites, à une ou plusieurs travées, par la méthode des lignes d'influence. Formules et Tables. Gr. in-8°, viii-291 p. Paris, Baudry et C^{ie}. (5512)
- Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction. 1^{re} session. 3 vol. In-4°. T. II : Section A (métaux); Rapports particuliers (1^{re} série), 434 p.; t. III : Section A (métaux); Rapports particuliers (2^e série), 443 p.; t. IV : Section B (matériaux d'agrégation des maçonneries); Rapports particuliers, 319 p. Paris, Rothschild. (Ministère des travaux publics.) (11836)
- COSTA (J.). — Comparaison entre le tramway électrique à fil aérien et le tramway à vapeur (système Serpollet). In-8°, 23 p. av. fig. et 5 pl. Marseille, imp. Barthelet et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*.) (10149)
- CROS (R.). — Les Grands Barèmes de la construction métallique (Barèmes généraux; Flexion; Compression; Flambage, etc.). A l'usage de MM. les ingénieurs, architectes, agents voyers, conducteurs des ponts et chaussées. In-4° obl., 472 p. Montpellier, l'auteur, 9, rue des Ateliers. (12620)
- DARIÈS (G.). — Cubature des terrasses et Mouvement des terres. Avec une préface de Maurice d'Ocagne, ingénieur des ponts et chaussées. In-16, 203 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. (9442)
- DONNELL (R. W. M.). — L'Apprentissage dans les ateliers de locomotives. Conseils donnés aux jeunes ingénieurs mécaniciens; par Randal W. Mc Donnell. Traduit par P. Vicq, membre

- associé de la Société des ingénieurs civils de France. In-16, 64 p. Paris, V^e Ch. Dunod et P. Vicq. (10431)
- FRANCIÈRE. — Note sur le chemin de fer à voie étroite de Châlons à Givry et Triaucourt. In-8°, 20 p. Châlons-sur-Marne, Martin frères. (8940)
- GARRY (A.). — Truck transporteur de wagons à voie normale sur ligne à voie étroite. In-8°, 16 p. et 2 pl. Paris, Chaix. (Extr. du *Bull. tech. de la Soc. des anciens élèves des écoles nat. d'arts et métiers.*) (6765)
- HERSENT (H.). — Note sur l'emploi de l'air comprimé pour l'exécution des ouvrages hydrauliques et spécialement des fondations. Expériences faites à Bordeaux. In-4°, 35 p. av. fig. Paris, Chaix. (6339)
- JUBAULT (A.). — Les Chemins de fer français, leur histoire, leurs rapports financiers avec l'État et l'épargne, conférence publique faite au théâtre de Dieppe, le 19 avril 1895. In-8°, 45 p. Dieppe, imp. Dequen. 0^f,50. (12734)
- LAMY (L.). — Manuel pratique des transports par chemins de fer (Marchandises; Voyageurs). In-8°, 200 p. Paris, l'auteur, 5, rue Ganneron. 2^f,75. (5850)
- LEBLANC (P.). — La Question des chemins de fer (les Accidents de chemin de fer, leurs causes réelles, les remèdes nécessaires). In-18 Jésus, 108 p. Paris, Savine. 1^f,50. (11230)
- PILLET (J.). — Traité de stabilité des constructions. Leçons professées au Conservatoire national des arts et métiers et à l'École spéciale d'architecture. Gr. in-4°, iv-484-LVI p. av. fig. Paris, 18, rue Saint-Sulpice. (11740)
- MORANDIÈRE (R.). — Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal pour routes, canaux et chemins de fer. Texte. In-4°, p. 853 à 1891, av. fig. Paris, V^e Dunod. (11135)
- SOULEYRE et ANGLADE. — Expériences sur les matériaux de maçonneries. In-4°, 76 p. av. fig. Constantine, autogr. Poulet. (8822)
- Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1893. Documents divers. Première partie. France, intérêt général. In-4°, vi-276 p. Paris, Imp. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) 8394)
- Documents divers. Deuxième partie : France, intérêt local; Algérie et Tunisie. In-4°, vi-336 p. Paris, Imp. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (11994)
- Traité du 15 juillet 1891 avec les compagnies de chemins de fer,

modifié les 30 janvier, 13 juillet 1894 et 10 mars 1895, pour l'exécution des transports ordinaires du matériel de la guerre, suivi de l'instruction ministérielle du 28 mai 1895 relative au traité ci-dessus. 2^e édition, annotée et mise à jour. In-8°, 164 p. Paris et Limoges, Charles-Lavauzelle. 2 fr. (10335)

8^e Législation. — Économie politique et sociale.

- BELLOM (M.). — La Législation des sociétés de secours mutuels devant le Parlement français. In-8°, 28 p. Paris, 110, rue de l'Université. (Extr. de la *Revue politique et parlementaire.*) (7874)
- BRUN (A.). — Transport par chemins de fer des marchandises et des voyageurs. In-12, 55 p. Paris, Dulac. (6507)
- BUSSOUL (H.). — Statistiques officielles sur la situation ouvrière en Belgique. In-8°, 115 p. et pl. Paris, 262, boulevard Saint-Germain. (Extr. de l'*Association catholique.*) (11620)
- CHAVANNE (F.). — Droit romain : De la propriété et de l'exploitation des mines chez les Romains. Droit français : De l'intervention de l'administration dans l'exploitation des mines (thèse). In-8°, 320 p. Clermont-Ferrand, imp. Malleval. (8649)
- COENE (J. DE). — Les Associations pour prévenir les accidents du travail, leur rôle, les résultats obtenus. In-8°, 15 p. Rouen, imp. Deshays et C^{ie}. (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle de Rouen.*) (12597)
- DÉREZ (A.). — Ce qu'il faut savoir pour voyager en chemin de fer. Tarifs et conditions d'application. In-16, 255 p. Douai, Crépin. Lille, l'auteur, 51 bis, rue Saint-Gabriel. 2^f,50. (6537)
- Renseignements pratiques à l'usage des voyageurs en chemin de fer. Droits et obligations de chacun. In-32, 161 p. Douai, imp. Crépin frères. (6538)
- DROZ (N.). — L'Assurance obligatoire et les caisses libres. In-8°, 30 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du *Bull. du Comité permanent du Congrès des accidents du travail.*) (7005)
- GIGOT (A.). — Les Assurances ouvrières et le Socialisme d'État. In-8°, 21 p. Paris, 54, rue de Seine. (Extr. de la *Réforme sociale.*) (8951)
- Hygiène et sécurité des travailleurs dans les ateliers industriels. Législation française et étrangère. In-8°, 659 p. Paris, Berger-Levrault et C^{ie}. (Office du travail.) (8260)
- LA CONCE (E. DE). — Du transport des voyageurs par chemins de fer (thèse). In-8°, 325 p. Paris, A. Rousseau. (7549)

- Office du travail. Étude sur les derniers résultats des assurances sociales en Allemagne et en Autriche. Deuxième partie : Maladie, Invalidité et Vieillesse. In-8°, 229 p. Paris, Berger-Levrault et C^e. (Ministère du commerce.) (9036)
- Rapports sur l'application pendant l'année 1894 des lois réglementant le travail. Rapport présenté à M. le Président de la République par MM. les membres de la commission supérieure du travail. Rapports des inspecteurs divisionnaires du travail. Rapports des ingénieurs en chef des mines. In-8°, xxxix-699 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (10762)
- Résumé de la législation générale des chemins de fer allemands. In-8°, 49 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du ministère des travaux publics.*) (5690)

9° Objets divers.

- BRICOGNE (C.). — Masques respirateurs contre les poussières. Mise en pratique d'un bon masque au chemin de fer du Nord. In-8°, 7 p. av. fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Ext. du journal *le Génie civil.*)
- DÉTOURBE. — Étude sur le masque respirateur normal contre les poussières. In-8°, 44 p. av. 20 fig. Paris, Chaix.
- Exposition internationale de Chicago en 1893. Mines, Métallurgie, Mécanique, Constructions métalliques, etc.; par MM. *Anache, Bourck, Buseyne, Joubert, Legarrois, Leleu, Montier, Nonorgue, Postillon.* Extrait du rapport des délégués ouvriers. In-8°, 86 p. av. fig. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (6060)
- Rapports publiés sous la direction de M. Camille Kranz, commissaire général du gouvernement français. Commissariat spécial des colonies, de la Tunisie et de l'Algérie : l'Agriculture et les Instruments agricoles à l'Exposition de Chicago. Rapport de M. C. *Burgart*, ingénieur des arts et manufactures, commissaire-rapporteur. Gr. in-8°, 87 p. Paris, Imp. nationale. (10442)
- FRANCOEUR (L.-B.). — Géodésie, ou Traité de la figure de la Terre et de ses parties, comprenant la topographie, l'arpentage, le nivellement, la géomorphie terrestre et astronomique, la construction des cartes, la navigation. 8^e édition, augmentée de notes sur la mesure des bases, par M. le lieutenant-colonel *Hossard*, professeur de géodésie et d'astronomie à l'École polytechnique, et de deux notes, l'une sur la méthode et les instruments d'observation employés dans les grandes opéra-

- tions géodésiques, l'autre sur la fonction géodésique et astronomique de l'Espagne avec l'Algérie, par M. le colonel *Perrier*, de l'Institut et du Bureau des longitudes. In-8°, xvii-564 p. et pl. Paris, Gauthier-Villars et fils. 12 fr. (11434)
- HUGUENIN (P.). — Aide-mémoire de l'ingénieur. Édition française du Manuel de la société la Hutte. 3^e édition. In-18 jésus, xxxii-1.188 p. av. fig. Paris, Baudry et C^e. (9995)
- PICARD (A.). — Traité des eaux (droit et administration). T. V et dernier : Rivages de la mer ; Éclairage et balisage des côtes. In-8°, 1.650 p. Paris, Rothschild. (6185)
- SAINTIGNON (F. DE). — Nouvelle théorie des marées. Le mouvement différentiel. In-4°, iv-127 p. av. fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^e. (8088)
- Société des aciéries de Longwy. Album des aciers laminés. In-18, 54 p. et planche. Nancy, Berger-Levrault et C^e. (9824)
- Rapports des ingénieurs des mines aux conseils généraux sur la situation des mines et usines en 1894 (extraits). Nord, Pas-de-Calais, Loire, Saône-et-Loire, etc. In-4°, 109 p. Paris, 3, rue Scribe. (11745)

OUVRAGES BELGES.

- COLLETTE (L.). — Exercices de calcul différentiel. Liège. In-8°, viii-245 p. 5 fr.
- CUVELIER (E.). — Précis du cours de géologie de l'École d'application de l'artillerie et du génie de Belgique. Gand. xxviii-200 p., av. atlas in-4° de 26 pl. 7^{fr},50.

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécaniques pures.*

- BRIGGS (W.) and BRYAN (G.-H.). — Text-Book of Statics. Clive. 3^{fr},45.
— Text-Book of Dynamics. In-8°. Clive. 3^{fr},45.

- CAYLEY (A.).—Collected mathematical Papers. Vol. VIII. Londres. In-4°. 37^f,50.
 ELLIOTT (E.-B.). — An Introduction to the Algebra of Quantics. Londres. In-8°. 22^f,50.
 TAIT (P.-G.). — Dynamics. Londres. In-8°, 374 p. 44^f,25.

2° *Physique et Chimie.*

- BENJAMIN (P.). — The Intellectual Rise in Electricity: A History. In-8°, 612 p. Longmans. 26^f,25.
 BLOXAM (C.-L.). — Chemistry, inorganic and organic. With Experiments. 8th ed., Re-written and Revised. In-8°, 846 p. Churchill. 23^f,15.
 CLOWES (F.) and COLEMAN (J.-B.). — Quantitative Chemical Analysis. 3rd ed. In-8°, 556 p. Churchill. 44^f,25.
 CORNISH (N.). — Practical Proofs of Chemical Laws. A Course of Experiments upon the Combining Proportions of the Chemical Elements. In-8°, 104 p. Longmans. 2^f,50.
 HEATH (R.-S.). — A Treatise on Geometrical Optics. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 408 p. Cambridge University Press. Longmans. 45^f,65.
 JACKSON (E.). — Skiascopy, and its Practical Application to the Study of Refraction. In-8°. Paul, Trübner and Co. 6^f,25.
 MUTER (J.). — A Short Manual of Analytical Chemistry, Qualitative and Quantitative, Inorganic and Organic. Following the Course of Instruction given in the Laboratories of the South London School of Pharmacy. 6th ed. Illust. In-8°, 226 p. Simpkin. 8^f,15.
 ROSCOE (H.-E.). — John Dalton and the Rise of modern Chemistry. Londres. In-8°, 210 p. 5^f,25.
 SADTLER (S.-P.). — A Handbook of Industrial Organic Chemistry: Adapted for the Use of Manufacturers, Chemists, and all Interested in the Utilisation of Organic Materials in the Industrial Arts. 2nd Revised and Enlarged ed. In-8°, 538 p. Lippincott. 34^f,25.
 SEXTON (A.-H.). — Elementary Inorganic Chemistry, Theoretical and Practical. With a Course of Chemical Analysis and a Series of Examples in Chemical Arithmetic. 4th ed., Revised and considerably Enlarged. In-12, 366 p. Blackie. 3^f,45.
 STEWART (B.). — An Elementary Treatise on Heat. 6th ed., Revised, with Additions by R.-E. Baynes. In-8°, 500 p. Clarendon Press. 10^f,65.

- THOMSON (J.-J.). — Elements of the Mathematical Theory of Electricity and Magnetism. In-8°, 518 p. Cambridge University Press. 42^f,50.
 THORPE (T.-E.). — A Manual of Inorganic Chemistry. New ed. 2 vols. Vol. 1, The Non-Metals; Vol. 2, The Metals. Illust. In-8°. W. Collins, Sons and Co. Chaque vol. 6^f,90.
 TILDEN (W.-A.). — Introduction to the Study of Chemical Philosophy; The Principles of Theoretical and Systematic Chemistry. New ed. In-12, 368 p. Longmans. 5^f,65.
 VERITY (J.-B.). — Electricity up to Date, for Light, Power, and Traction. 4th ed. In-8°, 230 p. Warne. 2^f,50.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- BONNEY (T.-G.). — Charles Lyell and Modern Geology. In-8°, 224 p. Cassell. 4^f,40.
 British Museum. (Natural History. Mineral Department.) An Introduction to the Study of Rocks. With Plan. In-8°, 48 p. British Museum. 0^f,65.
 BROWNE (A.-J.-J.). — Geology: An Elementary Handbook. In-8°. Whittaker and Co. 3^f,15.
 COLE (G.-A.-J.). — Open-Air Studies: An Introduction to Geology Out-of-Doors. Illust. In-8°, 330 p. C. Griffin and Co. 10^f,65.
 DANA (J.-D.). — Manual of Geology. 4th ed. In-8°. Paul, Trübner and Co. 35 fr.
 — Manual of Mineralogy and Petrography; Containing the Elements of the Science of Minerals and Rocks. For the Use of the Practical Mineralogist and Geologist, and for Instruction in Schools and Colleges. 12th ed. Illust. In-8°, 528 p. Paul, Trübner and Co. 7^f,50.
 DEAN (B.). — Fishes, Living and Fossil: An Outline of their Forms and Probable Relationship. In-8°, 314 p. Macmillan. 43^f,15.
 DUBOIS (E.). — The Climates of the Geological Past and their Relation to the Evolution of the Sun. In-8°, 176 p. Swan Sonnenschein. 4^f,45.
 FOCK (A.). — An Introduction to Chemical Crystallography. Trans. and Edit. by William J. Pope. With a Preface by N. Story-Maskelyne. In-8°, 498 p. Clarendon Press. 6^f,25.
 HATCH (F.-H.). — Mineralogy. In-8°. Whittaker. 3^f,15.
 HONKER (A.). — Petrology for Students. In-8°, 340 p. Cambridge. 11^f,25.
 HUTCHINSON (H.-N.). — Extinct Monsters. A Popular Account of

- Some of the Larger Forms of Ancient Animal Life. With Illusts. by J. Smit and Others. 4th and cheaper ed. In-8°, 292 p. Chapman and Hall. 7^l,50.
- Creatures of Other Days. Popular Studies in Palæontology. With numerous Illusts. by J. Smit and Others. New and cheaper ed. In 8°, 294 p. Chapman and Hall. 7^l,50.
- SEELEY (H.-G.). — The Story of the Earth in Past Ages. With 40 Illusts. In-8°, 196 p. G. Newnes. 4^l,25.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

- BASHFORTH (F.). — A Supplement to a Revised Account of the Experiments made with the Bashforth Chronograph to find the Resistance of the Air to the Motion of Projectiles, etc. In-8°, 56 p. Cambridge University Press. 4^l,90.
- CAMPIN (F.). — A Practical Treatise on Mechanical Engineering. 3rd ed. Illust. In-12, 290 p. Crosby Lockwood and Son. 3^l,75.
- COTTERILL (J.-H.). — Applied Mechanics: An Elementary General Introduction to the Theory of Structures and Machines. With Diagrams, Illustrations and Examples. 4th ed. Revised and Enlarged. In-8°, 654 p. Macmillan. 22^l,50.
- EVERS (H.). — Steam and the Steam Engine, Land and Marine. New and Enlarged ed. In-8°, 496 p. Collins. 4^l,90.
- JAMESON. — A Textbook of applied Mechanics. Vol. I. Londres. In-8°, 422 p. 4^l,25.
- MCDONNELL (R.-W.). — An Elementary Treatise on the Steam Engine. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 92 p. Dublin, McGee. Simpkin. 3^l,45.
- RANSOME (J.-S.). — Modern Wood-Working Machinery. Illust. In-8°, xvi-236 p. W. Rider and Son. 4^l,40.
- WARREN (I.). — An Elementary Treatise on Heat and the Steam Engine. In-8°, 332 p. Dublin, Hodges, Figgis and Co. Simpkin. 7^l,50.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie.*
— *Métallurgie.*

- BLACK (J.). — Gas Fitting: A Practical Handbook. 2nd ed. Enlarged. In-12, 158 p. Crosby Lockwood and Son. 3^l,75.
- BUTTERFIELD (W.-J.-A.). — Gas Manufacture, The Chemistry of: A Practical Handbook on the Production, Purification and Testing of Illuminating Gas, and the Assay of the Bye-Pro-

- ducts of Gas Manufacture. For the Use of Students, Chemists and Gas Engineers. With numerous Illusts. In-8°, 390 p. C. Griffin and Co. 4^l,25.
- EISSLER (M.). — The Metallurgy of Gold: A Practical Treatise on the Metallurgical Treatment of Gold-Bearing Ores, including the Processes of Concentration, Chlorination and Extraction by Cyanide, and the Assaying, Melting and Refining of Gold. 4th ed. Enlarged. About 250 Illusts. and numerous Plates. In-8°, 704 p. Crosby Lockwood and Son. 20 fr.
- GUTTMANN (O.). — The Manufacture of Explosives: A Theoretical and Practical Treatise on the History, the Physical and Chemical Properties, and the Manufacture of Explosives. With 147 Illusts. 2 vols. In-8°, 802 p. Whittaker and Co. 52^l,50.
- HORNS (A.-H.). — Principles of Metallurgy. In-8°, 402 p. Macmillan. 7^l,50.
- LEFFMANN (H.). — Examination of Water for Scientific and Technical Purposes. 3rd ed. In-8°. Paul, Trübner and Co. 6^l,25.
- MAYCOCK (W.-P.). — Practical Electrical Notes and Definitions. 430 Illusts. In-32. Spons. 2^l,50.
- MUNRO (J.) and JAMESON (A.). — A Pocket Book of Electrical Rules and Tables for the Use of Electricians and Engineers. 11th ed. Revised and Enlarged. In-32, 708 p. C. Griffin and Co. 10^l,65.
- PATERSON (G.-W.-L.). — The Management of Dynamos: A Handybook of Theory and Practice for the Use of Mechanics, Engineers, Students and Others in charge of Dynamos. With numerous Illusts. In-8°, 222 p. Crosby Lockwood and Son. 4^l,40.
- RHEAD (E.-L.). — Metallurgy. An Elementary Textbook. Londres. In-8°, 294 p. 5^l,50.
- THOMPSON (S.-P.). — Polyphase Electric Currents and Alternate Current Motors. In-8°, 262 p. Spons. 15^l,65.
- TURNER (T.). — The Metallurgy of Iron and Steel: Being one of a Series of Treatises on Metallurgy Written by Associates of the Royal School of Mines. Edit. by Prof. W.-C. Roberts-Austen. Vol. I. The Metallurgy of Iron. With numerous Illusts. In-8°, 382 p. C. Griffin and Co. 20 fr.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

- GOLDMANN (C.-S.) and KITCHIN (J.). — South African Mines: Their Position, Results and Developments, together with an Account, of Diamond, Land, Finance and Kindred Companies. 3 vols. Vol. I, Rand Mining Companies. Vol. II, Miscellaneous Compa-

- nies. Vol. III, Maps and Plans. Johannesburg, Argus Printing Co., E. Wilson. 78^f,75.
- GRUNDY (J.). — Report of the Inspection of Mines in India for the Year ending 30th June, 1894. In-8°, 102 p. Low. 2^f,50.
- HATCH (R.-H.) and CHALMERS (J.-A.). — The Gold Mines of the Rand: Being a Description of the Mining Industry of Withwatersrand, South African Republic. With Maps, Plans and Illusts. In-8°, 318 p. Macmillan. 21^f,25.
- Home Office. — Mines. List of Mines in the United Kingdom of Great Britain and Ireland, and the Isle of Man. For the Year 1894. Prepared by Her Majesty's Inspectors of Mines. 4^f,40.
- 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, 1894. 0^f,95.
- LOCK (C.-G.-W.). — Economic Mining: A Practical Handbook for the Miner, the Metallurgist and the Merchant. In-8°, 682 p. Spons. 26^f,25.
- MERRILL (G.-P.). — The Onyx Marbles: Their Origin, Composition and Uses, both Ancient and Modern. 18 Plates. In-8°. Wesley. 3^f,75.
- PAMELY (C.). — The Colliery Manager's Handbook: A Comprehensive Treatise on the Laying-out and Working of Collieries. Designed as a Book of Reference for Colliery Managers and for the Use of Coal-Mining Students Preparing for First-Class Certificates. Containing nearly 700 Plans, Diagrams and other Illusts. 3rd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 872 p. Crosby Lockwood and Son. 31^f,25.
- Parliamentary. — Mineral Statistics of the United Kingdom for 1894. 2^f,40.
- Mines. Explosion at Timsbury Colliery, 6th Feb., 1895. Reports by Messrs Roskill and Martin. Diagrams. 0^f,95.
- STUART (D.). — The Origin and Rationale of Colliery Explosions: Founded upon and Examination of the Explosions at the Timsbury, Albion, Malago Vale, and Llanerch Collieries, and upon the Principal Phenomena of the Disasters at Abercarne, Alltolls, Allham, Apedale, Blantyre, Bryn and other Collieries. In-4°, 156 p. Bristol, J. Wright and Co. Simpkin. 9^f,40.

7° Construction. — *Chemins de fer.*

- ANDREWS (Th.). — The life of Railway Axles. (Extr. de l'*Engineer*). In-8°, 46 p. Spons. 1^f,25.

- FITZMAURICE (M.). — Plate-Girder Railway Bridges. In-8°, 112 p. Spons. 7^f,50.
- MARTIN (H.-M.). — Statically Indeterminate Structures and the Principle of Least Work. Revised and Reprinted from *Engineering*. Illust. In-8°, 71 p. « Engineering » Office.
- Parliamentary. — Railway Accidents. Returns and Inspectors' Reports. Jan. to March, 1895. 1^f,80.
- Railways. Continuous Brakes. Returns for July to Dec., 1894. 1^f,25.
- — — Traffic, Capital, etc. Returns for 1894. 1^f,15.
- REYNOLDS (M.). — First Principles of the Locomotive. With numerous Illusts. In-8°, 152 p. Biggs and Co. 3^f,15.
- STRETTON (C.-E.). — The Locomotive Engine and Its Development: A Popular Treatise on the Gradual Improvements made in Railway Engines between 1803 and 1895. Numerous Illusts. 4th ed., Revised. In-8°, 240 p. Crosby Lockwood and Son. 3^f,15.

8° *Objets divers.*

- American Steam and Hot-Water Heating Practice. With 585 Illusts. In-4°, 326 p. « Engineering Record » Office. 20^f.
- LAWLER (J.-J.). — Practical Hot-Water Heating, Steam and Gas Fitting. Illust. In-8°, 284 p. Paul, Trübner and Co. 10^f,65.
- PHILLIPS (H.-J.). — The Handling of Dangerous Goods. A Handbook for the Use of Government and Railway Officials, Carriers, Shipowners, Insurance Companies, Manufacturers and Users of such Goods and others, Comprising Notes on the Properties of Inflammatory, Explosive and other Dangerous Compounds, and the Modes of Storage and Transport thereof. With Official Classifications, Parliamentary Enactments, Particulars of Recorded Accidents, etc. In-8°, XII-362 p. Crosby Lockwood and Son. 11^f,25.
- ROBERTS (C.-W.). — Drawing and Designing for Marine Engineers. In-8°, 190 p. Tower Publishing Co. 7^f,50.
- TAYLOR (T.). — Gauges at a Glance. Containing all the Principal Gauges of the different Metals, Tinplate Substances, etc., Collated and Compared; Foreign Moneys, Weights and Measures; Metric Weights and Measures into English Equivalents and vice versa, Weights of Bar Iron, Tinplates and Galvanized Sheets; Decimal Equivalents and other Information for all interested in the Metal Trades, etc. In-8°, 78 p. Spons. 3^f,75.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

- ASHLEY (O.-D.). — Railways and their Employés. 1895. In-12, 245 p. Chicago. The Railway Age and North-Western Rail-Roader. 6^f, 25.
- HEYSINGER (J.-W.). — The Source and Mode of Solar Energy throughout the Universe. New-York. In-8°, 364 p. Illusts. 15^f, 65.
- HOLMBAUGH (J.-R.). — The Lead and Zinc Mining Industry of South-West Missouri and South-East Kansas. In-8°. New-York, The Scientific Publishing Co. 3^f, 15.
- HOUSTON (E.-J.) and KENNELLY (A.-E.). — Alternating Electric Currents. Illust. In-8°, 225 p. New-York, W.-J. Johnston Co. 6^f, 25.
- PETERS (E.-D.). — Modern Copper Smelting. 7th ed. Enlarged. In-8°, 668 p. avec fig. et pl. New-York, The Scientific Publishing Co. 31^f, 25.
- POWELL (J.-W.). — Fourteenth Annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the Interior, 1892-93. 2 vols. Vol. I : Report of the Director. Maps. Vol. II : Accompanying Papers. Washington, Government Printing Office.
- United States Geological Survey Bulletin. No. 148. A Geographical Dictionary. By *Henry Gannett*. No. 149. A Geological Reconnoissance in North-West Wyoming. By *G.-H. Eldridge*. No. 120. The Devonian System of Eastern Pennsylvania and New-York. By *C.-S. Prosser*. No. 121. A Bibliography of North American Paleontology, 1888-1892. By *C.-R. Keyes*. No. 122. Results of Primary Triangulation. By *H. Gannett*. In-8°. Washington, Government Printing Office.
- Monographs. Vol. 23. Geology of the Green Mountains in Massachusetts. By *Raphael Pumpelly*, *I.-E. Wolff* and *T. Nelson Dale*. Vol. 24. Mollusca and Crustacea of the Miocene Formations of New Jersey. By *Robert Parr Whitfield*. Plates, Maps. Illust. In-4°. Washington, Government Printing Office.

OUVRAGES HOLLANDAIS.

- HUYGENS (C.). — Œuvres complètes publiées par la Société hollandaise. Tome VI. Correspondance. 1666-1669. La Haye. In-4°, vi-655 p., av. fig. et 6 pl. 46^f, 90.
- MARTIN (K.). — Die Fossilien von Java. Auf Grund einer Sammlung von *R.-D.-M. Verbeek* bearbeitet. 2.—5. Heft. Mollusken. 1.—4. Heft. Leyde. In-4°, 132 p., av. 20 pl. 31^f, 25.
- VOGEL (F.). — Beiträge zur Kenntniss der holländischen Kreide. I. Lamellibranchiaten aus der oberen Mucronatenkreide von Holländisch Limburg. II. Die Fossilien des Neocomsandsteins von Losser und Gildehaus. Leyde. In-4°, 64 p. av. 3 pl. 9^f, 40.

OUVRAGES SUISSES.

- ERISMANN (O.). — Das schweizerische Eisenbahn-Haftpflicht-Gesetz vom 1. Juli 1875, interpretiert durch des Bundesgericht von 1876—94. Bâle, R. Reich. In-8°, 75 p. 2^f.
- KOBY (F.). — Monographie des polypiers jurassiques de la Suisse. 2^e supplément. (Extr. des *Mém. de la Soc. paléontolog. suisse*). Genève. Bâle, Georg et C^{ie}. In-4°, 20 p., av. 4 pl. 7^f.
- DE LORIOL (P.). — Étude sur les Mollusques du Rauracien inférieur du Jura bernois. Accompagnée d'une notice statistique par *F. Koby*. (Extr. du même recueil). Genève. Bâle, Georg et C^{ie}. In-4°, 129 p., av. 10 pl. 20^f.
- TORNQUIST (A.). — Ueber Macrocephaliten im Terrain-à-Chailles. (Extr. du même recueil). Zurich. Bâle, Georg. et C^{ie}. In-4°, 28 p., av. 2 pl. 6^f.
- TROMMER (L.-E.). — Das Eisenbahn-Verkehrswesen. Grundlegende Vorarbeiten für eine Neuordnung und künftige Verkehrswissenschaft. Zurich, Art. Institut Orell Füssli. In-8°, 121 p. 2^f, 50.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BIERMANN (O.) — Elemente der höheren Mathematik. Vorlesungen zur Vorbereitung des Studiums der Differentialrechnung, Algebra und Functionentheorie. Leipzig, B. G. Teubner. In-8°, XII-381 p. 12^f,50. (2115)
- GRASSMANN (R.) — Die Formenlehre der Mathematik in strenger Formelentwicklung. 4 Theile in 4 Bde., nebst Formelbuch. Stettin, R. Grassmann. In-8°, v-XII-242 p.; XII-189 p.; IX-132 p.; III-39 p. u. Formelbuch 24, 27, 14 u. 5 p. av. fig. 12^f,50. (2943)
- KANTOR (S.) — Theorie der endlichen Gruppen von eindeutigen Transformationen in der Ebene. Berlin, Mayer und Müller. In-8°, 111 p. 6^f,25. (4099)
- KRAUSE (M.) — Theorie der doppeltperiodischen Functionen einer veränderlichen Grösse. I. Bd. Leipzig, B. G. Teubner. In-8°, VIII-328 p. 15 fr. (4100)
- NERNST (W.) und SCHÖNFLEISS (A.) — Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften. Kurzgefasstes Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung mit besonderer Berücksichtigung der Chemie. Munich, E. Wolff. In-8°, XI-309 p. av. 61 fig. 10^f,75. (3715)
- PELZ (C.) — Zur Joachimsthal'schen Lösung des Normalenproblems. (Ext. des *Sitzungsber. d. k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften*). Prague, F. Rivnac. In-8°, 4 p. av. fig. 12^f,50. (3320)
- SCHRÖDER (E.) — Vorlesungen über die Algebra der Logik (exakte Logik). III. Bd. Algebra und Logik der Relative. I. Abtlg. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, VIII-649 p. av. fig. 20^f. (4113)
- STACKEL (P.) und ENGEL (F.) — Die Theorie der Parallellinien von Euklid bis auf Gauss, eine Urkundensammlung zur Vorgeschichte der nichteuklidischen Geometrie, in Gemeinschaft mit E. herausgegeben von St. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, X-325 p., av. 143 fig. 11^f, 25. (3330)
- WEIERSTRASS (K.) — Mathematische Werke. Herausgegeben unter Mitwirkung einer von der königl. preussischen Akademie der Wissenschaften eingesetzten Commission. II. Bd. Abhandlungen II. Berlin, Mayer und Müller. In-4°, VI-362 p. 26^f,25. (2566)

2° *Physique et Chimie.*

- WOODS (F.-S.) — Ueber Pseudominimalflächen. Göttingen, Vandenhœck und Ruprecht. In-8°, 73 p. av. 33 fig. 2^f,50. (3337)
- ZEUTHEN (H.-G.) — Geschichte der Mathematik im Altertum und Mittelalter. Copenhague, A. F. Høst et fils. In-8°, VII-344 p. 7^f,50. (4118)
- BANDROWSKY (E.) — Wykład chemii ogólnej. Czesc I. Chemia nieorganiczna. (Leçons de chimie générale. 1^{re} part. Chimie inorganique). Cracovie. In-8°, X-335 p. av. 59 fig. 6^f,65. (3674)
- BIEDERMANN (R.) — Zur Kenntnis der m-Diketohexamethylene. Heidelberg, J. Hörning. In-8°, 33 p. 4^f. (2934)
- Fortschritte, die, der Physik im Jahre 1893. Dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. 49. Jahrg. 1.—3. Abth. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°. 93^f,75. (3695)
- GRIESBACH (H.) — Physikalisch-chemische Propädeutik unter besonderer Berücksichtigung der medicinischen Wissenschaften und mit historischen und biographischen Angaben. 1. Hälfte. Leipzig, W. Engelmann. In-8°, 372 p. av. 44 fig. 7^f,50. (2946)
- GRUNMACH (L.) — Lehrbuch der magnetischen und elektrischen Maasseinheiten, Messmethoden und Messapparate. Stuttgart, F. Enke. In-8°, XVI-632 p. av. 242 fig. dans le texte. 20 fr. (4504)
- Handbuch der anorganischen Chemie. Herausgegeben von O. Dammer. Ergänzungsbd. Physikalisch-chemische Tabellen der anorganischen Chemie. Von K. Buchka. Stuttgart, F. Enke. In-8°, VIII-348 p. 12^f,50. (4096)
- Handbuch der Physik, unter Mitwirkung von F. Auerbach, F. Braun, E. Brodhun u. A. herausgegeben von A. Winkelmann. III. Bd. Livr. 25, 26. Breslau, E. Trewendt. In-8°, avec fig. Chaque livraison 4^f,50. (3698)
- Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von A. Ladenburg. XIII. Bd. Breslau, E. Trewendt. In-8°, 869 p. av. fig. 22^f,50. (2538)
- JAHN (H.) — Grundriss der Elektrochemie. Vienne, A. Hölder. In-8°, X-311 p. 10^f,50. (2948)
- LE BLANC (M.) — Lehrbuch der Elektrochemie. Leipzig, O. Leiner. In-8°, VII-226 p. av. 32 fig. 6 fr. (4101)
- LEHMANN (O.) — Elektrizität und Licht. Einführung in die messende Elektrizitätslehre und Photometrie. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, XIV-399 p., av. 220 fig. et 3 pl. 8^f,75. (3314)
- LIZNAR (J.) — Die Vertheilung der erdmagnetischen Kraft in Osterreich-Ungarn zur Epoche 1890-0 nach den in den Jahren

- 1889-94 ausgeführten Messungen. I. Thl. Erdmagnetische Messungen in Oesterreich, ausgeführt in den J. 1889-93 von J. Liznar. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenschaften*). Vienne, F. Tempsky. In-4°, 232 p. av. 1 fig. 15 fr. (3707)
- LÜPKE (R.). — Grundzüge der wissenschaftlichen Elektrochemie auf experimenteller Basis. Berlin, J. Springer. In-8°, VIII-150 p. av. 46 fig. 3^f,75. (2546)
- OPPENHEIMER (C.). — Grundriss der organischen Chemie. Berlin, Boas und Hesse. In-8°, VII-130 p. 3 fr. (2555)
- OSTWALD (V.). — Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre. Mit 260 Nachbildungen geschichtlicher Original-Figuren. Leipzig, Weitz und Co. In-8°, XVI-1151 p. 35 fr. (4107)
- SCHMIDT (F.-W.). — Kurzes Lehrbuch der anorganischen Chemie. Munich, E. Wolff. In-8°, VIII-376 p. 5^f,65. (2147)
- SCHWARTZE (T.). — Grundgesetze der Molekularphysik. Leipzig, J.-J. Weber. In-8°, XIV-209 p. av. 25 fig. 5 fr. (4521)
- TOLLENS (B.). — Kurzes Handbuch der Kohlenhydrate. II. Bd., enthaltend die Forschungsergebnisse der Jahre 1888-95. (Extr. revu et complété du *Handwörterbuch der Chemie*.) Breslau, E. Trewendt. In-8°, XVI-407 p. 11^f,25. (2072)
- TURNER (A.). — Die zerstreute Materie. Leipzig, Th. Thomas. In-8°, VIII-78 p.
- WEYER (G.-D.-E.). — Die magnetische Declination und ihre säculare Veränderung für 48 Beobachtungsorter, berechnet als periodische Function für jeden einzelnen Ort aus den daselbst angestellten Beobachtungen. (Extr. des *Nova Acta d. k. Leop. Carol. deutsch. Akad. der Naturforscher*.) Halle, Leipzig, W. Engelmann. In-4°, 87 p. av. fig. 10 fr. (3727)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- Abhandlungen, palaeontologische, herausgegeben von W. Dames und E. Kayser. Neue Folge. III. Bd. 1. Heft. Beiträge zur Kenntniss der palaeozoischen Crinoiden Deutschlands. Von O. Jaekel. Iéna, G. Fischer. In-4°, 116 p. av. 29 fig. et 10 pl. 25 fr. (3295)
- Abhandlungen zur geologischen Specialkarte von Elsass-Lothringen. V. Bd. 3. Heft. Beiträge zur Kenntniss der Tertiärflora des Ober-Elsass. Oligocänflora von Mühlhausen i. E. Von C. Lakowitz. Strasbourg, Strassburger Druckerei u. Verlagsanstalt. In-8°, XIII-169 p. av. 9 pl. 11^f,25. (3297)
- V. AMMON (L.). — Die Gegend von München, geologisch geschil-

- dert. (Extr. de *Festschrift d. geograph. Gesellsch. in München z. Feier ihrer 25jährigen Bestehens*). Munich, T. Ackermann. In-8°, 152 p. av. 12 fig., 6 pl. et 1 carte géol. color. 6^f,25. (2108)
- BAUER (M.). — Edelsteinkunde. Eine allgemein verständliche Darstellung der Eigenschaften, des Vorkommens und der Verwendung der Edelsteine. 1. Lfg. Leipzig, C.-H. Tschunitz. In-8°, 48 p. av. 8 pl. chromo. et nombreuses fig. Paratira en 8 livraisons. 3^f,15. (3165)
- BERWERTH (F.). — Mikroskopische Structurbilder der Massengesteine in farbigen Lithographien. Nach der Natur lithographirt von A. Berger und L. Steiner. 32 lithographirte Tafeln. 1. Lfg. Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 8 pl., 4 p. texte. 25 fr. (4492)
- BÖHM (J.). — Die Gastropoden des Marmolatakalkes. (Extr. des *Palaeontographica*.) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 98 p., av. 98 fig. et 7 pl. 25 fr. (3678)
- BRÖGGER (W.-C.). — Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. I. Die Gesteine der Grorudit-Tinguait-Serie. (Extr. des *Videnskabselskabsels Skrifter*.) Christiania, J. Dybwad. In-8°, VII-206 p., av. 17 fig., 4 cartes et pl. 11^f,50. (2118)
- — — II. Christiania, J. Dybwad. In-8°, 183 p. 11^f,25. (4495)
- DIENER (C.). — Ergebnisse einer geologischen Expedition in den Central-Himalaya von Johar, Hundes und Pankanda. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften*.) Vienne, C. Gerold's Sohn. In-4°, 76 p., av. 16 fig., 7 pl. et 1 carte géol. 16^f,25. (4500)
- ENGELHARDT (H.). — Ueber neue Tertiärpflanzen Süd-Amerikas. (Extr. des *Abhandl. d. Senckenberg. naturf. Gesellschaft*.) Francfort-sur-le-Mein, M. Diesterweg. In-4°, 47 p., av. 9 pl. 8^f,75. (3305)
- HAECKEL (E.). — Systematische Phylogenie. Entwurf eines natürlichen systems der Organismen auf Grund ihrer Stammesgeschichte. III Thl. Berlin, G. Reimer. In-8°, XX-660 p. 20 fr. (3697)
- MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. In Verbindung mit Philippi, L. Pfeiffer, Duncker etc. neu herausgegeben und vervollständigt von H. C. Küster, nach dessen Tode fortgesetzt von W. Kobelt. XI. Bd. 4. Abth. a. Die Familie der Gastrochanidae. Bearbeitet von S. Clessin. Nuremberg, Bauer und Raspe. In-4°, 57 p., av. 21 pl. 40 fr. (2548)
- Systematisches Conchilien-Cabinet. Livr. 412-416. Nuremberg, Bauer und Raspe. In-4°. Chaque livraison 11^f,25. (2549-3711)

- MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. Sect. 135. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°. 33^f,75. (2550)
- MIKOS (J.). — Hypothesen über einige kosmologische und geologische Momente. Leipzig, O. Mutze. In-8°, 99 p. av. 1 pl. 2^f,50. (3713)
- NESTLER (A.). — Kritische Untersuchungen über die sogenannten Wasserspalten. (Extr. des *Nova Acta d. k. Leop.-Carol. deutsch. Akad. der Naturforscher.*) Halle. Leipzig, W. Engelmann. In-4°, 38 p. av. 2 pl. 3^f,75. (2554)
- RAUFF (H.). — Palæospongiologie. II. Bd. 2. Abth. (Extr. des *Palæontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, p. 347-395, av. 49 fig. et 7 pl. 25 fr. (3719)
- SALOMON (W.). — Geologische und palæontologische Studien über die Marmolata (mit Ausschluss der Gastropoden). (Extr. des *Palæontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, v-201 p. av. 14 fig. et 8 pl. 45 fr. (3720)
- SCHAFARZIK (F.). — Die Pyroxen-Andesite des Cserhat. Eine petrographische und geologische Studie. Budapest, F. Kilian. In-8°, III p. et p. 185-374, av. 1 carte color. et 2 pl. 9 fr. (3326)
- WRANY (A.). — Die Pflege der Mineralogie in Böhmen. Ein Beitrag zur vaterländischen Geschichte der Wissenschaften. 1. Hälfte. Prague, Dominicus. In-8°, vi-160 p. 4^f,50. (4531)
- V. ZITTEL (K.-A.). — Grundzüge der Palæontologie (Palæozoologie). Munich, R. Oldenbourg. In-8°, viii-971 p. av. 2048 fig. 31^f,25. (2450)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

- HARTMANN (W.). — Leistungsversuche mit Petroleummotoren. (Extr. de la *Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure.*) Berlin, J. Springer. In-fol., ii-39 p. av. 2 pl. 6^f,25. (3541)
- v. HOYER (E.). — Kurzes Handbuch der Maschinenkunde. 8. Lfg. Munich, Th. Ackermann. In-8°, p. 673-768, av. fig. 3 fr. (4337)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie.*
— *Métallurgie.*

- BECKERT (T.) und BRAND (A.). — Hüttenkunde. (Extr. du *Handbuch der chemischen Technologie.*) Stuttgart, F. Enke. In-8°, xiii-766 p. av. 235 fig. 25 fr. (2780)
- BENDER (A.). — Jahres-Rundschau über die chemische Industrie und deren wirthschaftliche Verhältnisse für das Jahr 1894. 4 Abthlgn. Vienne, A. Hartleben. In-8°. 22^f,50. (2413)

- FELDMANN (C.-P.). — Wirkungsweise, Prüfung und Berechnung der Wechselstrom-Transformatoren. Für die Praxis bearbeitet. II. Th. Leipzig, O. Leiner. In-8°, p. vi a-d et p. 229-514, av. 176 fig. 7^f,50. (2387)
- Handbuch der chemischen Technologie. Bearbeitet und herausgegeben von P.-A. Bolley und K. Birnbaum, fortgesetzt von C. Engler. VI. Bd. 6. Gruppe. I. Abth. (54 Lfg.) Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, xviii-704 p. avec 327 fig. 37^f,50. (3178)
- — I. Bd. 2. Gruppe. II. Abth. 2. Thl. (55 Lfg.) Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, xi-384 p. av. 192 fig. et 4 pl. 18^f,75. (3925)
- JÜPTNER v. JONSTORFF (H.). — Fortschritte im Eisenhütten-Laboratorium in den letzten 10 Jahren. II. Bd. Leipzig, A. Felix. In-8°, viii-549 p. av. 79 fig. 24^f,25. (4738)
- KAPP (G.). — Transformatoren für Wechselstrom und Drehstrom. Berlin, J. Springer. Munich, R. Oldenbourg. In-8°, vi-205 p. av. 133 fig. 8^f,75. (3180)
- LIEBETANZ (F.). — Die Elektrotechnik aus der Praxis — für die Praxis. Düsseldorf, J.-B. Gerlach und Co. In-8°, xvi-288 p. av. 143 fig. 3^f,75. (3183)
- RÜHLMANN (R.). — Grundzüge der Elektrotechnik. Eine gemeinschaftliche Darstellung der Grundlagen der Starkstrom-Elektrotechnik für Ingenieure, Architekten, Industrielle, Militärs, Techniker und Studierende an technischen Mittelschulen. 2. Hälfte. Leipzig, O. Leiner. In-8°, iii p. et p. 253-416, av. 93 fig. 7^f,50. (2398)
- SACK (J.). — Elektrotechnisches Wörterbuch. Englisch-Französisch-Deutsch. Mit Zusätzen versehen von Arth. Wilke. Leipzig, O. Leiner. In-8°, iv-123 p. 5^f,65. (3538)
- SCHWARTZE (T.). — Die Lehre von der Elektrizität und deren praktische Verwendung. Leipzig, J.-J. Weber. In-8°, xvi-548 p., av. 153 fig. 12^f,50. (2398)

6° *Construction. — Chemins de fer.*

- HAHN (M.). — Kompendium der Bahnen niederer Ordnung. I. Thl. Unter Benutzung offizieller Quellen bearbeitet. Berlin, Selbstvert. In-8°, xi-321-xvii p. 25 fr. (2389)
- HAARMANN (A.). — Die Kleinbahnen. Ihre geschichtliche Entwicklung, technische Ausgestaltung und wirthschaftliche Bedeutung. Für die Bedürfnisse der Praxis bearbeitet. Berlin,

- Siemenroth und Troschel. In-8°, x-388 p., av. 178 fig. 10 fr. (4735)
- V. LEIBBRAND (K.). — Die König Karls-Brücke über den Neckar zwischen Stuttgart und Cannstatt. (Extr. de la *Zeitschrift für Bauwesen*.) Berlin, W. Ernst und Sohn. In-fol., m-43 p. av. 50 fig. et 10 pl. 25 fr. (3181)
- MAUDRY (H.). — Explosive Präparate und die Geschoss-Construction. Vienne, L.-W. Seidel und Sohn. In-8°, x-231 p. av. 9 pl. 6^f,25. (3712)
- SUPPER. — Die Entwicklung des Eisenbahnwesens im Königreich Württemberg. Denkschrift zum 50. Jahrestag der Eröffnung der ersten Eisenbahnstrecke in Württemberg am 22. Oktbr. 1845. Stuttgart, W. Kohlhammer. In-8°, vi-215 p. av. 59 fig., 1 portrait et 1 carte color. 10 fr. (4481)

7° *Législation. — Économie politique et sociale.*

- BÖDIKER (T.). — Die Arbeiterversicherung in den europäischen Staaten. Leipzig, Duncker und Humblot. In-8°, vii-352 p. 8^f,75. (4024)
- JURISCH (K.-W.). — Ueber Gefahren für die Arbeiter in chemischen Fabriken, Unfallverhütungsmittel und Arbeitsbedingungen. Berlin, R. Görtner. In-8°, iv-130 p. av. 4 pl. 7^f,50. (3545)

8° *Objets divers.*

- BECK (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. Das 16. und 17. Jahrhundert. 8 Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, xii p. et p. 1233-1332. 3^f,75. (3167)
- — — III. Abtlg. Das 18. Jahrhundert. I. Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, p. 1-176 av. fig. 6^f,25. (4726)
- WIESNER (A.). — Thomasschlacke und natürliche Phosphate. Ein Handbuch für Eisenwerksbesitzer, Hüttenchemiker, Düngerefabrikanten, Düngerehändler und Landwirthe. Vienne, A. Hartleben. In-8°, ix-242 p. av. 28 fig. 5 fr. (4351)

OUVRAGES RUSSES.

- ABRAHAMSON (A.). — Les chemins de fer urbains, leur importance actuelle, leur développement et leur avenir (en russe). Kiev. In-8°, 48 p. 5 fr.
- FLORENCOFF (W.-I.). — Notes d'électrotechnique. Cours des Écoles militaires (en russe). Saint-Petersbourg. In-8°, vi-140 p. 7^f,50.
- JAEKEL (O.). — Unter-tertiäre Selachier aus Südrussland. (Extr. des *Mém. du Comité géologique*, en russe et en allemand). Saint-Petersbourg, Eggers et Co. In-4°, 35 p., 2 pl. 3^f,75.
- STUCKENBERG (A.). — Korallen und Bryozoen der Steinkohlenablagerungen des Ural und des Timan (en russe et en allemand). (Extr. du même recueil.) Saint-Petersbourg. In-4°, iii-244 p., 24 pl. 26^f,25.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- ARICARDI (V.). — Il triangolo : nozione particolareggiata di questa figura seguita da 7840 problemi risolti. Turin, E. Loescher. In-8°, viii-198 p. av. 18 pl. 4 fr. (9885)
- ARZELÁ (C.). — Sulle funzioni di linee. Bologna, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 22 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna*.) (4342)
- Sull' integralità delle equazioni differenziali ordinarie. Bologna, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 16 p. (Extr. du même recueil.) (5154)
- BAGNOLI (E.). — Trattato delle corde nel circolo. Rome, tip. Raponi e C. In-8°, 87 p. av. 10 pl. 3 fr. (5989)
- BONETTI (E.). — Alcune quistioni sui contatti sferici, precedute

- da una esposizione sui centri, assi e piani di similitudine. Messine, tip. Filomena. In-8°, 12 p. (8991)
- COMINOTTO (E.). — Sopra una disposizione particolare dei triangoli simili: seguito di una nota che verrà pubblicata nel periodico *Lugli* di Roma. Padoue, tip. del Seminario. In-8°, 7 p. (7324)
- Trisezione approssimata dell'angolo. Padoue, tip. del Seminario. In-8°, 7 p. (7322)
- FAVARO (A.). — Lezioni di geometria proiettiva. Terza edizione riveduta ed aumentata. Padoue, F. Sacchetto. In-8°, x-260 p. 5^{fr.} (8994)
- GREMIGNI (M.). — La teorica dei poligoni equivalenti. Florence, R. Bemporad e figlio. In-8°, 28 p. 1 fr. (6847)
- MANAIRA (A.). — Sopra una certa rappresentazione piana dell'elissoide di rivoluzione e sulla applicazione di essa ai calcoli geodetici. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 36 p. av. planche. (7324)
- MARTI (R.). — Operazioni del calcolo e loro analogia. Lecce, tip. Cooperativa. In-8°, 36 p. (6854)
- MONTI (P.). — Regola generale per la soluzione grafica della trisezione dell'angolo, colla dimostrazione del prof. G. Schiaparelli. Milan, fr. Bombelli. In-4°, 7 p. av. fig. et planche. (6854)
- OVIDIO (E. D'). — Geometria analitica. Turin, fr. Bocca. In-8°, xvi-443 p. av. fig. 40 fr. (9406)
- PALATINI (F.). — Considerazioni sui sistemi lineari razionali di curve piane. Foggia. In-8°, 12 p. (4347)
- PASCAL (E.). — Esercizi e note critiche di calcolo infinitesimale: calcolo differenziale e integrale. Milan, U. Hoepli. In-16, xix-371 p. (5994)
- SAPORETTI (A.). — Nuove considerazioni sulla metafisica del calcolo infinitesimale: memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 46 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (5997)
- STEGAGNINI (A.). — Divisibilità dei numeri decimali. Cividale, tip. G. Fulvio. In-8°, 21 p. (6000)
- TCHEBICHEF (P.-L.). — Teoria delle congruenze. Traduzione italiana, con aggiunte e note della dott. *Iginia Massarini*. Rome, E. Loescher e C. In-8°, xvi-295 p. (4760)
- WEBBER (E.). — Applicazioni geometriche e analitiche di calcolo differenziale ed integrale. Milan, E. Rechiedei. In-16, 263 p. av. fig. 3^{fr.}50. (9413)

2° *Physique et Chimie.*

- BERGONZOLI (G.). — Ancora sulla formalina. Pavie, tip. succ. Bizzoni. In-8°, 4 p. (Extr. du *Bollettino scientifico*). (6840)
- BERTOLDO (G.). — Compendio di termodinamica applicata. Volume I. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, 239 p. av. fig. 4 fr. (6449)
- CAVAZZI (A.). — Conferenza sul calorimetro del Malher ed esperimenti fatti nel gabinetto di chimica docimastica pei membri del congresso dei gasisti, tenutosi a Bologna nel giugno 1895. Bologne, tip. Azzoguidi. In-8°, 14 p. av. planche. (9047)
- CIAMICIAN (G.) e SILBER (P.). — Sulla costituzione della maclurina e della floretina: memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 40 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell'istit. di Bologna*). (6841)
- — Sulla fenilcumalina e sulla così detta dicotoina: memoria. Bologne, tip. Gamberini et Parmeggiani. In-4°, 48 p. av. fig. (Extr. du même recueil). (6842)
- GALILEI GALILEO. — Le opere. Edizione nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il Re d'Italia. Volume V. Florence, tip. G. Barbèra. In-4°, 429 p. avec fig. (7807)
- GARIBALDI (P.-M.). — Durata del periodo fra gli ultimi due maximum di macchie solari e di variazioni declinometriche diurne. Gènes, tip. A. Ciminago. In-8°, 11 p. av. planche. (Extr. des *Atti. d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*). (4742)
- GIACOMELLI (L.). — Breve cenno su la scoperta dell'Argon nell'aria atmosferica. Florence, tip. pei Minori corrigendi. In-8°, 7 p. (Extr. de l'*Orosi*). (4743)
- Metodo per la separazione del cromo dal ferro nella analisi qualitativa e ricerca qualitativa dell'anidride solforosa mescolata con anidride carbonica ed acido solforico. Florence, tip. Minorenni corrigendi. In-8°, 5 p. (Extr. de l'*Orosi*). (6845)
- KELLER (F.). — Sull'intensità orizzontale del magnetismo terrestre nei pressi di Roma. Rome, tip. di Adelaide ved. Pateras. In-8°, 41 p. (9405)
- MANAIRA (A.). — Equazione caratteristica e capacità termiche del vapor d'acqua. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 49 p. (4747)
- MARCUETTI (G.). — Studio di alcuni fluosali e fluossisali potassici. Florence, tip. Minorenni corrigendi. In-8°, 40 p. (Extr. de l'*Orosi*). (6849)
- MARTINI (T.). — Intorno alle correnti generate dall'immersione

- del platino e della spugna di platino in una soluzione acidulata. Venise, tip. Ferrari. In-8°, 40 p. (Extr. des *Atti d. r. istit. veneto di scienze, lettere ed arti*). (8996)
- MONTEVERDE (F.). — Ricerche diottriche: teoria di Gauss sulle lenti. Chiavari, tip. Chiavarese. In-8°, 49 p. (4346)
- PANEBIANCO (R.). — Nota sulla birifrangenza della seta. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 7 p. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia italiana*). (4749)
- PETTINELLI (P.). — Sulla permeabilità per i raggi oscuri delle lamine sottili di varie sostanze diafane. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 3 p. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale di Firenze*). (4348)
- POLLACCI (G.). — Sulla ricerca microchimica del fosforo per mezzo del reattivo molibdico e cloruro stannoso nelle cellule tanniche: osservazioni. Gènes, tip. Ciminago. In-8°, 3 p. (Extr. de la *Malpighia*). (8241)
- POLONI (G.). — Manuale di magnetismo ed elettricità. Seconda edizione curata dal prof. Fr. Grassi. Milan, U. Hoepli. In-16, xiv-370 p. av. fig. (4350)
- RIGHI (A.). — Sull'allungamento di una scintilla, prodotto dal moto degli elettrodi: nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 7 p. av. planche. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna*). (8601)
- Nuove esperienze sulle scintille elettriche costituite da masse luminose che si muovono lentamente: memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 26 p. av. planche et fig. (Extr. du même recueil.) (9409)
- RIMINI (E.). — Azione dell'acido nitroso sul safrolo: tesi. Bologne, tip. Fava e Garagnani. In-8°, 33 p. (5995)
- SASSOLI DE' BIANCHI (F.). — Alcune considerazioni su i principi fondamentali de le scienze naturali. Parte I (Chimica). Bologne, tip. succ. Monti. In-8°, 24 p. (5164)
- TORRE (G. Del). — Trattato di chimica generale. Vol. I. Rome, tip. Failli. In-16, 344 p. av. fig. 3 fr. (9893)
- VIGNOLO (G.). — Sopra il benzoilcarbinolparaminofenoletere od acetofenonparamidofenoletere. Gènes, tip. della Gioventù. In-8°, 3 p. (8247)
- VITALI (D.). — Dell'azione dell'acqua ossigenata sulla soluzione ammoniacale dei composti rameici e di un metodo semplice di preparazione dell'ossigeno: nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 7 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna*). (4353)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- ARDUINI (V.). — Conchiglie plioceniche del bacino di Albenga. Gènes, tip. A. Ciminago. In-8°, 55 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*). (5987)
- BARATTA (M.). — Notizie sui terremoti avvenuti in Italia durante l'anno 1895. Disp. 1. Rome. In-8°, p. 4-16. (4737)
- Alcune osservazioni fatte sul Vesuvio il 21 giugno 1895. Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-8°, 11 p. av. fig. (Extr. du *Bollett. d. soc. sismolog. italiana*). (8231)
- BELLARDI (L.). — I molluschi dei terreni terziari del Piemonte e della Liguria. Parte XVII (Cerithiidae, Triforidae, Cerithiopsidae e Diastomidae) a cura del dott. F. Sacco. Turin, C. Clausen. In-4°, 83 p. av. 3 pl. (7317)
- BERTELLI (T.). — Alcune considerazioni sul terremoto: conferenza. Florence, stab. tip. Fiorentino. In-16°, 43 p. (5556)
- BOMBICCI (L.). — Descrizione degli esemplari di zolfo nativo cristallizzato delle solfate di Romagna, raccolti e classificati dall'autore nel museo mineralogico della r. università di Bologna: memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 82 p. av. 3 pl. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna*). (5155)
- Sulle iniezioni e intrusioni, di rocce cristalline entro rocce analoghe di eruzioni precedenti (Sollevamenti e iniezioni del granito Elbano; delle eufotidi nelle serpentine, ecc.): memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 9 p. (Extr. du même recueil.) (8597)
- Sulle velature carboniose bituminoidi e sulle incrostazioni ferro-manganesifere e finamente sabbiose, ricuoprenti il quarzo cristallizzato del macigno di Porretta: nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 8 p. (Extr. du même recueil.) (9404)
- CAPELLINI (G.). — Rubble-drift e breccia ossifera nell'isola Palmaria e nei dintorni del golfo di Spezia: memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 13 p. (Extr. du même recueil.) (4343)
- CAVANI (F.). — Sulle misurazioni angolari coi goniometri a canocchiale eccentrico e sulle riprove nelle letture dei vernieri: memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 45 p. av. planche. (Extr. des *Atti del collegio degli ingegneri ed architetti in Bologna*). (6927)

- Cocco (L.). — Guida geologico-paleontologica per il lato orientale della Sicilia. Parte I (Provincia di Messina). Messine, tip. Siciliana. In-8°, 34 p. (7804)
- CORTESE (E.). — Descrizione geologica della Calabria, pubblicata a cura del r. ufficio geologico. Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8°, xxviii-310 p. av. 5 pl. (6410)
- Documenti (Alcuni) riguardanti terremoti del Friuli, a cura di A. Tellini. Udine, tip. G. B. Doretto. In-8°, 20 p. (Extr. du journal *In Alto*.) (5559)
- FUCINI (A.). — Fauna dei calcari bianchi ceroidi con *Phylloceras cylindricum* Sow. sp. del monte Pisano. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 229 p. av. 9 pl. (Extr. des *Atti d. soc. toscana di scienze naturali*.) (5160)
- FUTTERER (C.). — La serie cretacea nel Friuli occidentale. Traduzione riassuntiva di O. Marinelli. Udine, tip. G.-B. Doretto. In-16, 32 p. av. planche. (Extr. du journal *In Alto*.) (5161)
- GIBELLI (G.). — La terra. Parte I (La causa del calore interno della terra è una pressione che essa subisce). Milan, tip. d. soc. édit. Sonzogno. In-16, 16 p. 0^e, 75. (8598)
- GIOVANNOZZI (G.), VINASSA DE REGNY (P.-E.) e PIMPINELLI (V.). — Nota preliminare sui terremoti fiorentini del 1895. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 14 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di scienze naturali*.) (8236)
- MARCHI (L. DE). — Le cause dell'era glaciale: ricerca teorica delle condizioni che determinano l'attuale distribuzione delle temperature e delle piogge sulla superficie terrestre e che possono averla modificata nei precedenti periodi geologici. Pavia, tip. fr. Fusi. In-8°, xii-234 p. 5 fr. (6850)
- MELI (R.). — Notizie sopra alcuni fossili recentemente ritrovati nella provincia di Roma. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 6 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. geol. italiana*.) (7325)
- Sopra alcune rare specie di molluschi fossili estratti dal giacimento classico del monte Mario presso Roma. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 5 p. (Extr. du même recueil.) (7326)
- Relazione sommaria delle escursioni geologiche eseguite con gli allievi della r. scuola d'applicazione per gl'ingegneri di Roma nell'anno scolastico 1894-95, al monte Soratte e nel Viterbese (provincia di Roma.) Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-16°, 48 p. (Extr. de l'*Annuario d. r. scuola d'applicazione per gli ingegneri di Roma*.) (9890)

- PEOLA (P.). — Flora fossile braidese. Bra, tip. S. Racca. In-8°, 128 p. 2^e, 50. (9407)
- PIAZ (G. Dal). — Note sull'epoca glaciale nel bellunese. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 16 p. (Extr. des *Atti d. soc. veneto-trentina di scienze naturali*.) (8600)
- RADDI (A.). — Il terremoto a Firenze del 18 maggio 1893. Milan, tip. G. Gussoni. In-8°, 14 p. (Extr. du journal *Il Monitore tecnico*.) (5564)
- RICCI (L.). — Il problema delle origini: conferenza detta nell'aula del liceo Marcello in Venezia. Chiavari, tip. Artigianelli di A. Gemelli. In-8°, 32 p. (6416)
- ROVERE (C.-A.). — La Sicilia sotto l'aspetto geologico e fisico, con annesse alcune nozioni elementari di geologia: conferenze. Rome, tip. d. casa edit. Italiana. In-8°, 123 p. (7810)
- ROVERETO (G.). — Di alcuni anellidi del terziario in Austria. Gènes, tip. A. Ciminago. In-8°, 7 p. av. planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*.) (6417)
- SACCO (F.). — Essai sur l'orogénie de la terre. Turin, L. Clausen. In-8°, 51 p. av. planche. (4753)
- SCHNEER (J.) and von STEIN-NORDHEIM. — The history of Vesuvius from a D. 79 to a D. 1894. Naples, tip. Giannini figli. In-8°, 68 p. av. fig. 1^e, 50. (6861)
- TOMMASI (A.). — La fauna del calcare conchigliare. Pavia. In-8°, 168 p. av. 2 pl. 5 fr. (8243)
- TRABUCCO (G.). — Sulla vera posizione dei terreni eocenici dei monti del Chianti. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 15 p. av. planche. (Extr. du *Bollett. d. soc. geol. italiana*.) (8243)
- Sulle nummuliti dell'arenaria macigno del bacino eocenico di Firenze. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 4 p. (Extr. du même recueil.) (8244)
- Sull'età geologica del macigno di Firenze: comunicazione. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 7 p. (Extr. du même recueil.) (8245)
- TRAVERSO (S.). — Rocce granitiche e porfiriche del Sarrabus (Sardegna). Gènes, tip. A. Ciminago. In-8°, 32 p. av. planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*.) (6001)
- Nota preliminare sulle rocce eruttive della valle di Trebbia. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 7 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di scienze naturali*.) (8246)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

- ANCONA (U.). — Contributo alla teoria delle distribuzioni ad un cassetto con inversione di moto. Milan, tip. degli Operai. In-8°, 20 p. av. fig. (Extr. de l'*Industria*.) (5986)
- GARUFFA (E.). — Meccanica industriale: tecnologia delle industrie meccaniche. Volume II (Lavorazione dei metalli). Milan, U. Hoepli. In-8°, p. 535-988, av. fig. 14 fr. (8685)
- SIMONE (N. DE). — Auto-interruttore idraulico ossia valvola di sicurezza automatica per l'arresto dell'efflusso dai condotti idraulici forzati nei casi di brusca rottura dei tubi. Florence, tip. Galletti et Cocci. In-8°, 7 p. av. fig. (7380)
- TARONI (A.). — Studi di idraulica fluviale. Bologne, soc. tip. Azzoguidi. In-8°, 24 p. (4408)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

- CANOIANI (E.). — L'industria chimica all' esposizione di Chicago. Milan. In-8°, 121 p. 3 fr.
- CANESTRINI (E.). — Relazione sopra un parafulmine sistema Melsens collocato sulla casa Alonzo e Consoli di Catania. Padoue, stab. tip. Prosperini. In-8°, 20 p. av. fig. et planche. (Extr. des *Atti d. soc. veneto-trentina di scienze naturali*.) (8640)
- CARDEA (E.). — Elettrometallurgia. Parte I (Elettrometallurgia generale). Bologne, tip. G. Civelli. In-8°, 112 p. av. 4 pl. 2 fr. (8676)
- GIANOLI (G.). — I progressi dell' elettrochimica e l' avvenire del gas acetilene: conferenza. Milan, tip. degli Operai. In-8°, 14 p. (6413)
- PECCOMONI (A.). — L'acido carbonico liquido: fabbricazione e applicazioni industriali. Florence, tip. G. Carnesecchi e figli. In-8°, 79 p. av. fig., 2 pl. (Extr. des *Atti del collegio degli architetti ed ingegneri in Firenze*.) (9062)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

- AJON (S.). — A proposito della crisi zolfifera e dei mezzi per risolverla: osservazioni svolte nel locale della società lavoro ed ordine operai delle miniere di Piazza Armerina. Piazza Armerina, tip. fr. Bologna La Bella. In-8°, 22 p. (4825)

- FILOSE (L.). — Industria solfifera. Caltanissetta, tip. P. Castaldi-Petrantoni. In-8°, 7 p. (5635)
- GUASTALLA (M.). — Caolini e silici di Calabria: studi tecnici, industriali e commerciali. Seconda edizione. Rome, E. Perino. In-8°, 71 p. (5243)
- JACOBI (F.-C.). — La ferriera di Colle Val d' Elsa: il suo passato e il suo avvenire. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 49 p. (7407)
- Rivista del servizio minerario nel 1894 (Ministero di agricoltura, industria e commercio: direzione generale dell' agricoltura). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8°, c-296 p. 2^{fr}, 50. (8332)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

- BASSANI (C.). — Frena-urti automatico ferroviario dell' ing. Luigi Fillippeschi. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 4 p. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale di Firenze*.) (9945)
- BIANCHEOI (G.). — I disastri ferroviari ed i mezzi atti ad evitarli: sistema elettrico Bianchedi per la sicurezza dei convogli nelle strade ferrate e per la manovra centrale degli scambi e dei segnali. Florence, tip. Ciardelli. In-4°, 32 p. av. planche. (8293)
- BONOLA (G.). — La ferrovia del Sempione. Rome, tip. Forzani e C. In-16, 214 p. (4800)
- CANEVAZZI (S.). — Sulla resistenza delle pietre naturali ed artificiali alla corrosione per attrito, rappresentazione e misura: comunicazione (Laboratorio sperimentale per la resistenza dei materiali in Bologna). Bologne, tip. Gamberini e Parmegiani. In-4°, 10 p. av. 5 pl. (Extr. des *Atti del collegio degli ingegneri ed architetti in Bologna*.) (5194)
- Costruttore (II): 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, casa edit. dott. Francesco Vallardi. In-4° av. fig. Disp. 131-132, p. 89-152; Disp. 133-138, p. 153-264, av. 5 planches; Disp. 139-140, p. 265-312, avec planche; Disp. 141-142, p. 313-368. (4401 — 6047 — 7855 — 9459)
- Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie: norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4° av. fig. Disp. 108-109, p. 1-24, av. 14 pl.; Disp. 110-111, p. 25-72, av. 10 pl.; Disp. 112-114, p. 153-184, 1-23, 1-8, 209-240, av. 13 pl. 2 fr. la livraison. (4801 — 7373 — 9946)

- DIATTO (A.). — Traction électrique à conducteur souterrain pour tramways : nouveau système breveté. Turin, imp. Baravalle et Falconieri. In-8°, 15 p. av. 2 pl. (7374)
- GORRIERI (D.). — Nuova tavola grafica per calcolare le sezioni resistenti delle travi rettilinee sollecitate ad inflessione : comunicazione. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 25 p. av. planche. (Extr. des *Atti del collegio degli ingegneri ed architetti in Bologna*). (5196)
- GREGORI (T.). — Meccanismi d'arresto automatico ai veicoli delle funicolari, dei montacarichi, ecc. Milan, tip. degli Operai. In-4°, 16 p. (Extr. du journal *l'Industria*). (7377)
- MUGGIA (A.). — Risultati sperimentali sulla resistenza di alcune pietre edilizie allo schiacciamento. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 6 p. (Extr. des *Atti del collegio degli ingegneri ed architetti in Bologna*). (7857)
- Sulla applicazione dei fluosilicati all' indurimento delle pietre edilizie calcari tenere e particolarmente dei tufi calcari veronesi : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 13 p. avec fig. (Extr. du même recueil). (7858)
- RUSCONI (C.-G.) e RADICE (E.). — La trazione elettrica sulle ferrovie e tramvie : relazione compilata a cura dell' unione delle ferrovie italiane d' interesse locale e dell' associazione tramviaria italiana. Milan, tip. L. Zanaboni e Gabuzzi. In-8°, 44 p. (9950)
- SIZIA (F.). — Le frein automatique système Bucher et Durrer, appliqué aux chemins de fer funiculaires. Gênes, impr. fr. Pagano. In-8°, 38 p. av. 3 pl. (4407)
- STABILINI (G.). — Sopra alcune formule di cubatura dei solidi di terra : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 26 p. av. planche. (Extr. des *Atti del collegio degli ingegneri ed architetti in Bologna*.) (6937)
- TURCHI (C.). — Sulla risoluzione degli archi elastici simmetrici ribassati : memoria. Bologne, soc. tip. Azzoguidi. In-4°, 12 p. (9033)
- VIMERCATI (G.). — Intorno ad un nuovo giunto rinforzante le rotaie e smorzatore dell' urto delle medesime detto *Stossfangschiene* adottato dalle strade ferrate dello stato di Prussia. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 10 p. av. planche. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale*.) (4409)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

- Congrès international des accidents du travail et des assurances sociales : troisième session tenue à Milan du 1^{er} au 6 octobre 1894. Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 2 vol. 963 p. et 571 p. av. fig. (8530)

9° *Objets divers.*

- BENEDICTIS (B. DE). — I progressi della livellazione barometrica, con nuove tavole ipsometriche ed una carta dimostrativa degli osservatori meteorologici italiani. Florence, R. Bemporad e figlio. In-8°, 252 p. av. planche. 2^e, 50. (7803)
- CASALI (A.). — Le scorie Thomas pei terreni umidi e ricchi di materiale organica. Bologne, tip. succ. Monti. In-8°, 10 p. (7886)
- CRUGNOLA (G.). — Dizionario tecnico di ingegneria e di architettura nelle lingue italiana, francese, inglese e tedesca, compresi le scienze, arti e mestieri affini. Turin, A.-F. Negro. In-8°. Parte I. Disp. 50-62, p. 369-952; p. 1-32. (8642-9027-9460)
- JONA (E.). — Cavi telegrafici sottomarini : costruzione, immersione, riparazione. Milan, U. Hoepli. In-16, xvi-338 p. (6931)
- PESSO (L.). — Sul consolidamento delle fabbriche nelle Calabrie contro i danni dei terremoti : incatenamento delle fabbriche, case baraccate, camere di sicurezza. Parme, tip. L. Battei. In-8°, 11 p. av. planche. (7861)
- SALMOIRAGHI (A.). — Tachéomètres à verniers de la maison ing. A. Salmoiraghi de Milan : table tachéométrique pour la réduction à l'horizon. Milan, imp. Lombardi. In-16, 61 p. av. planche. (5996)

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 1895, 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. — SOCIETA 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. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
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 GEOLOG. 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-Pétersbourg.*
38. — Bulletin of the GEOLOGICAL INSTITUTION OF THE UNIVERSITY OF UPSALA. *Upsal.*
39. — KÖNIGLICHE UNGARISCHE GEOLOGISCHE ANSTALT. *Bude-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 LEOBEN UND PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
45. — Oesterr. Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pennsylvanie).*
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 ESPANA. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — MIDLAND INSTITUTE OF MINING, CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERS. *Barnsley (Yorkshire).*
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. — CANADIAN INSTITUTE. *Toronto.*
62. — Revue de la législation des mines. *Paris.*

63. — SECTION DES TRAVAUX GÉOLOGIQUES DU PORTUGAL. *Lisbonne.*
 64. — SECOND GEOLOGICAL SURVEY OF PENNSYLVANIA. *Philadelphie.*
 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 AKADEMY OF SCIENCES. *New-York.*
 70. — INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. *Londres.*
 71. — DEPARTMENT OF MINES OF VICTORIA. *Melbourne.*
 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. *Bruxelles.*
 80. — ASSOCIATION AMICALE DES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES. *Paris.*
 81. — Zeitschrift für praktische Geologie. *Berlin.*
 82. — The Journal of Geology, UNIV. OF CHICAGO.
 83. — Bulletin of the Department of Geology, UNIV. 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. *Bruxelles.*

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

	Pages
Note sur la constitution du midi du bassin houiller de Valenciennes; par M. <i>Chapuy</i>	192
Note sur les gisements de phosphate de chaux du plateau de Cheria (cercle de Tébessa); par M. <i>Jacob</i>	237
Étude géologique sur les terrains à phosphate de chaux de la région de Boghari (Alger); par M. <i>E. Ficheur</i>	248
Notice sur les terrains à phosphate de chaux de la région de Sidi-Aïssa (Alger); par MM. <i>E. Ficheur</i> et <i>J. Blayac</i>	281
Lambeau suessonien de Birin; par M. <i>J. Blayac</i>	290
Le suessonien à phosphate de chaux du Djebel-Mahdjd près M'Sila (province de Constantine); par M. <i>J. Blayac</i>	294

EXPLOITATION DES MINES. — GITES MINÉRAUX.

Notes sur des dégagements de gaz inflammables survenus dans des carrières souterraines d'argile plastique :	
I. — Note sur des dégagements de gaz inflammables survenus dans les carrières d'argile réfractaire de Bollène; par M. <i>Oppermann</i>	5
II. — Note sur des dégagements de gaz inflammables survenus dans les glaisières de Vanves et de Malakoff (Seine); par M. <i>Humbert</i>	19
III. — Note sur des dégagements de gaz inflammables survenus dans des carrières souterraines d'argile plastique en Belgique.	26

	Pages
Notes sur des flambées de gaz survenues dans des quartiers de mines non grisouleux :	
I. — Note sur une flambée de gaz survenue le 4 février 1858 au puits Peyrotte (concession de Carmaux); par M. <i>Léon</i>	29
II. — Note sur une flambée de gaz survenue au puits Marseille (concession des mines de houille de Montrambert, Loire); par M. <i>Leproux</i>	43
Note sur des dégagements de gaz inflammables survenus dans des mines métalliques, notamment dans celle de Pontpéan; par M. <i>Lodin</i>	40
Note sur les anciennes installations d'épuisement des mines de Châteauverduin; par M. <i>G. Vieira</i>	106
Note sur quelques expériences faites au siège n° 1 des mines de Liévin pour mesurer la pression du grisou dans la houille; par M. <i>A. Simon</i>	218
Calcul des câbles porteurs des plans aériens; par M. <i>L. Babu</i>	621

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

Application de la métallographie microscopique à la fabrication des rails, d'après un travail de M. <i>Alb. Sauvieur</i> ; par M. <i>F. Osmond</i>	453
Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1893 par les ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.	478
Sur la composition des cristaux observés dans les scories de déphosphoration; par M. <i>Ad. Carnot</i>	300
Sur un gisement de phosphates d'alumine et de potasse trouvé en Algérie et sur la genèse de ces minéraux; par M. <i>Ad. Carnot</i>	311
Sur la composition de quelques phosphates d'alumine (wavellites, turquoises, odontolites); par M. <i>Ad. Carnot</i>	321
Méthodes d'analyse des fontes, des fers et des aciers; par M. <i>Ad. Carnot</i>	357
— (Suite et fin.)	481

MÉCANIQUE. — MACHINES.

	Pages
Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1894.	544
Étude sur les aciers propres à la construction des machines. Conditions de recette de ces aciers; par M. <i>Auscher</i>	564

CHEMINS DE FER.

Note sur les essais comparatifs, faits à la Compagnie d'Orléans, sur une locomotive munie de la distribution à tiroirs d'admission et d'échappement indépendants (système Durant et Lencauchez) et sur une locomotive avec distribution à tiroir à coquille (système Gooch); par M. <i>Ernest Polonceau</i>	651
---	-----

OBJETS DIVERS.

Consolidation des carrières souterraines sous le prolongement du chemin de fer de Sceaux dans Paris; par M. <i>O. Keller</i>	125
Notice historique sur Pierre-Louis-Antoine Cordier, Inspecteur général des mines, Membre de l'Académie des sciences; par M. <i>J. Bertrand</i>	509

BULLETIN.

Statistique des câbles d'extraction dans le district de Dortmund de 1872 à 1893.	122
Statistique de l'industrie minérale des États-Unis en 1893 et en 1894.	232
Statistique de l'industrie minérale du Canada en 1894.	234
Statistique de l'industrie minérale de la Hongrie en 1893.	235
Statistique de l'industrie minière de l'Allemagne et du Luxembourg en 1893.	236
L'échelle mobile dans les mines de la Grande-Bretagne; par M. <i>Arthur Fontaine</i>	329
Production de l'or en Australasie en 1894.	355
Production de l'or et de l'argent dans le monde en 1894.	356
Production minière et métallurgique des Îles Britanniques pendant l'année 1894.	479

	Pages
Statistique de l'industrie minérale de l'Italie en 1894.	598
Actes de courage et de dévouement : accidents arrivés dans les mines et carrières.	662
Statistique de l'industrie minérale de la Belgique en 1894.	664

Législation étrangère.

Roumanie. Loi sur les mines du 21 avril 1895 et règlement pour son exécution du 29 avril 1895.	590
---	-----

BIBLIOGRAPHIE.

Deuxième semestre de 1895.

Ouvrages français.	670
Ouvrages belges.	687
Ouvrages anglais.	687
Ouvrages américains.	694
Ouvrages hollandais.	695
Ouvrages suisses.	695
Ouvrages allemands.	696
Ouvrages russes.	703
Ouvrages italiens.	703

Liste des échanges autorisés entre les <i>Annales des mines</i> et les publi- cations françaises et étrangères.	744
--	-----

ERRATUM

AU TOME CINQUIÈME

Page 426, ligne 3, au lieu de : $\log p + 1,4 \log v = 10$, lire : $\log p + 1,47 \log v = 1$.
— ligne 4, au lieu de : $\log p$ et de $\log v$, lire : p et v .

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME HUITIÈME.

- Pl. I. — Dégagements de gaz inflammables survenus dans la mine métallique de Pontpéan.
- Pl. II. — Application de la métallographie microscopique à la fabrication des rails.
- Pl. III et IV. — Constitution du midi du bassin houiller de Valenciennes.
- Pl. V. — Expériences faites au siège n° 1 des mines de Liévin pour mesurer la pression du grisou dans la houille.
- Pl. VI. — Gisements de phosphate de chaux du plateau de Cheria (cercle de Tébessa).
- Pl. VII et VIII et Pl. IX, fig. 1 à 4. — Étude géologique sur les terrains à phosphate de chaux de la région de Boghari et de Sidi-Aïssa (Alger).
- Pl. IX, fig. 5. — Coupe du Djebel-Birin (Alger).
- Pl. IX, fig. 6. — Coupe du Djebel-Mahdid près M'Sila (Constantine).
- Pl. X et XI. — Méthodes d'analyse des fers, fontes et aciers.
- Pl. XII. — Câbles porteurs de plans aériens.
- Pl. XIII. — Essais comparatifs, faits à la Compagnie d'Orléans, sur une locomotive à distribution du système Durant et Lencauchez et sur une locomotive à distribution du système Gooch.]

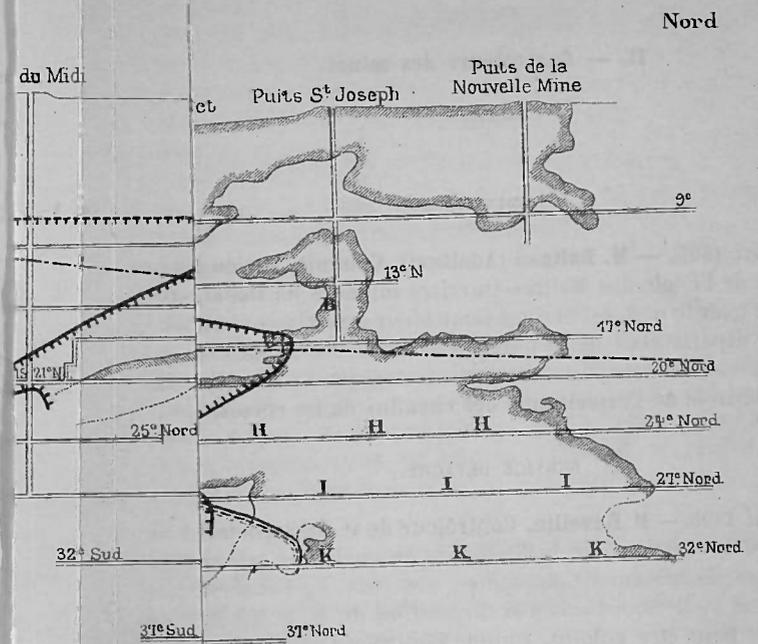
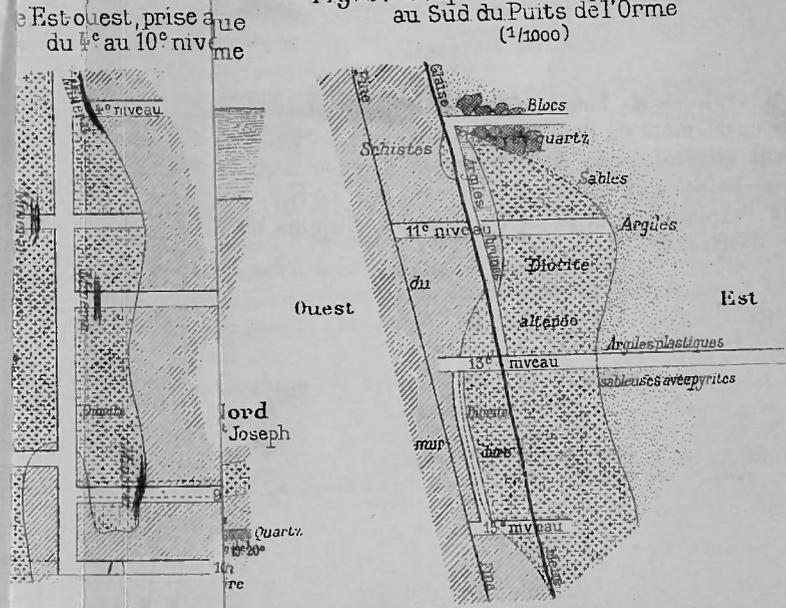


Fig. 5. Coupe Est-ouest prise vers 150^m au Sud du Puits de l'Orme (1/1000)



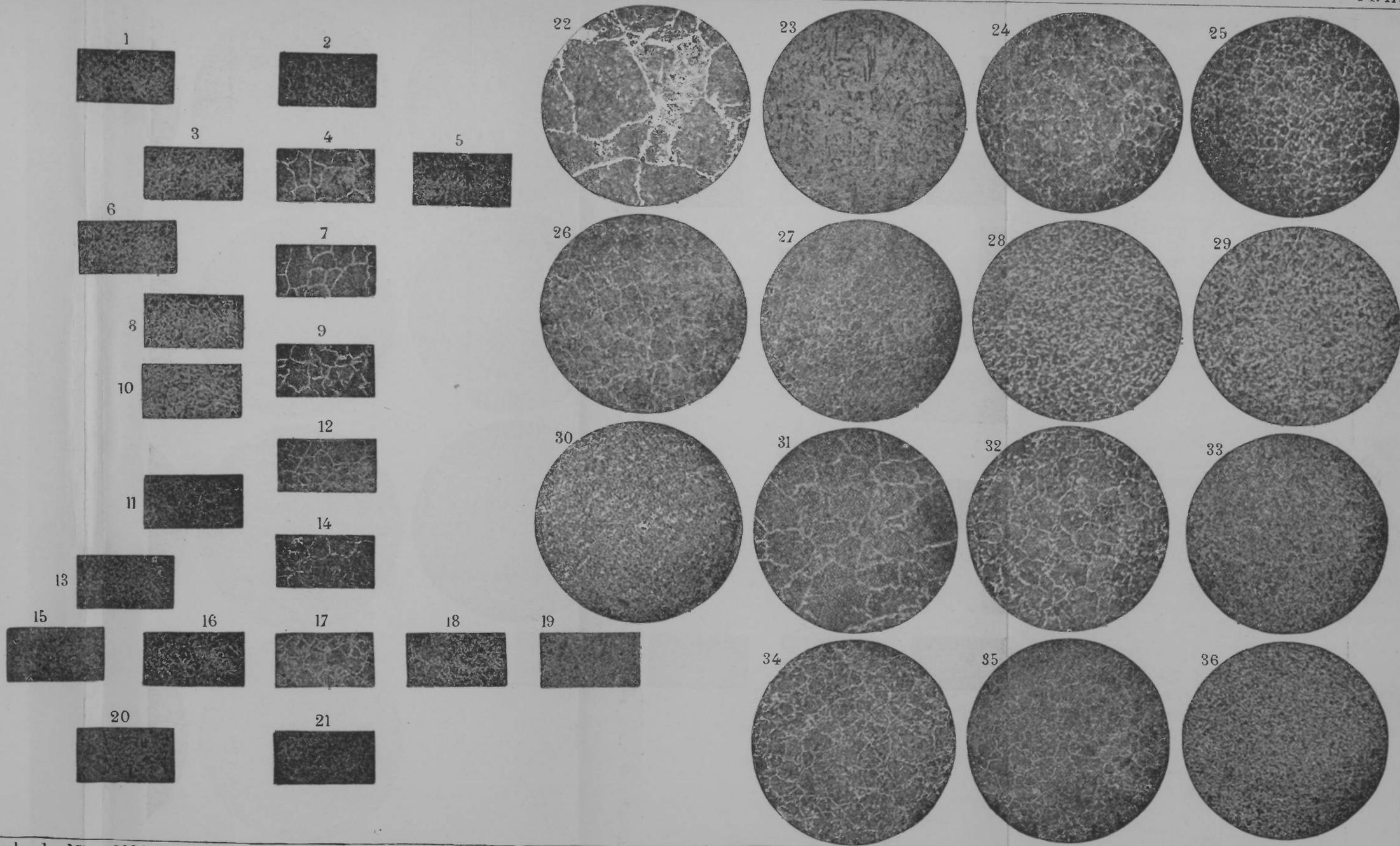


Fig. 1. Coupe des bowettes de la fosse Notre-Dame

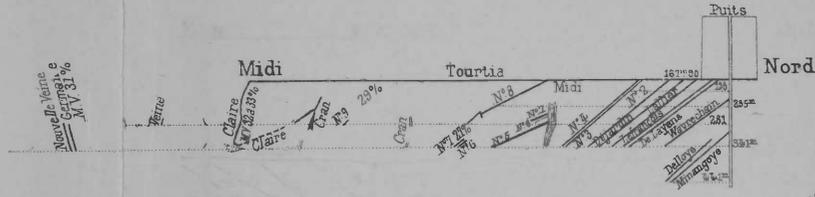


Fig. 3. Coupe passant par les fosses N°4 et N°5 suivant la ligne CDEFGH du plan de la Fig. 6.

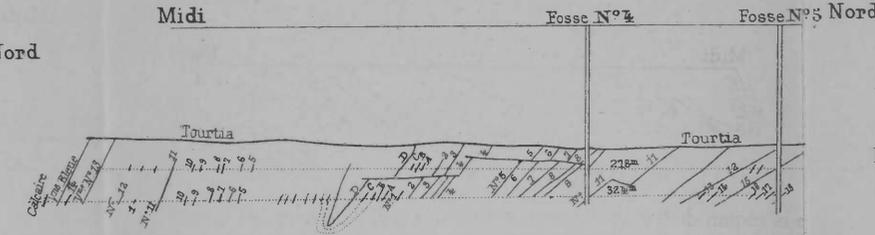


Fig. 7. Coupe par la fosse de Quiévrechain

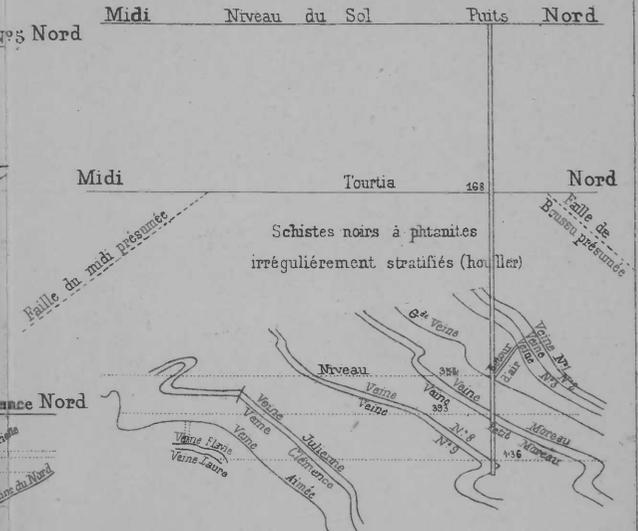


Fig. 2. Plan des Veines de la région de Douai. (Concessions d'Aniche et de l'Escarpelle)

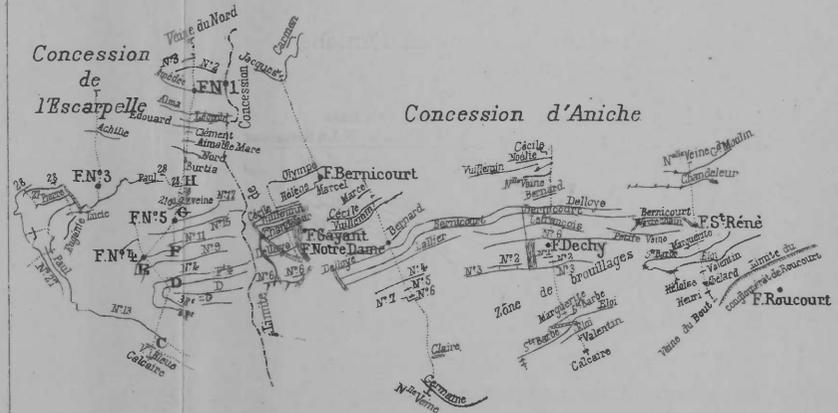


Fig. 5. Coupe Nord-Sud du gisement de la division d'Aniche et de la Concession d'Azincourt

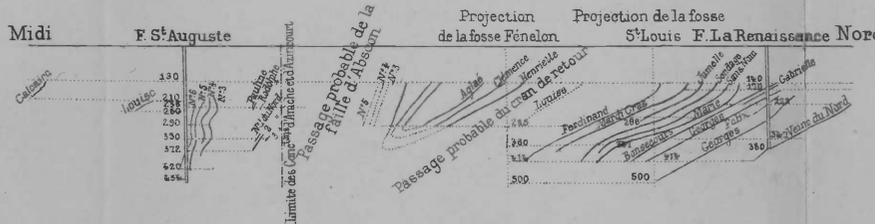


Fig. 8. Plan des veines exploitées dans la Concession de Crespin

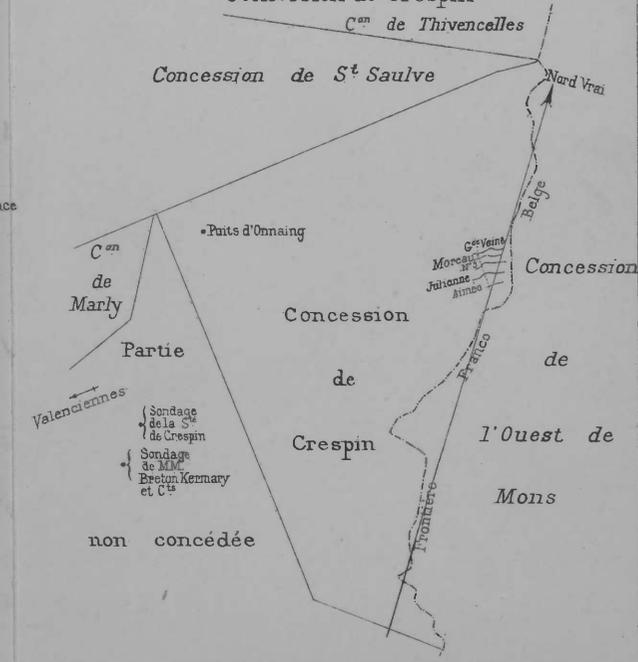


Fig. 4. Coupe par la fosse St-Mark

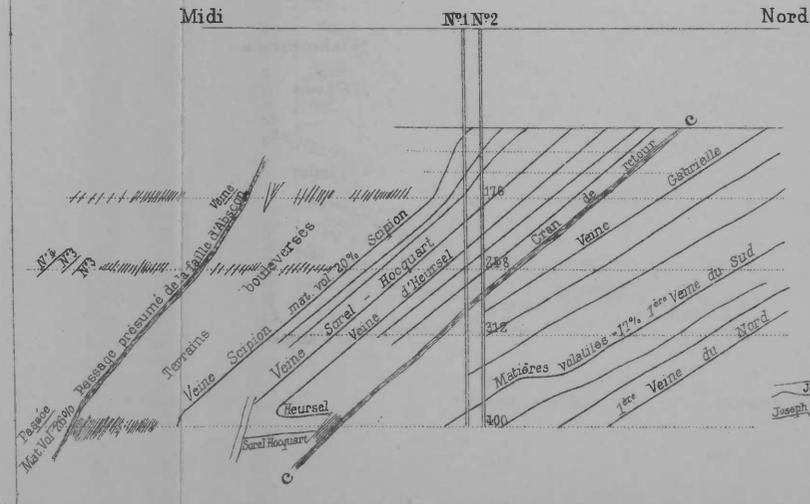
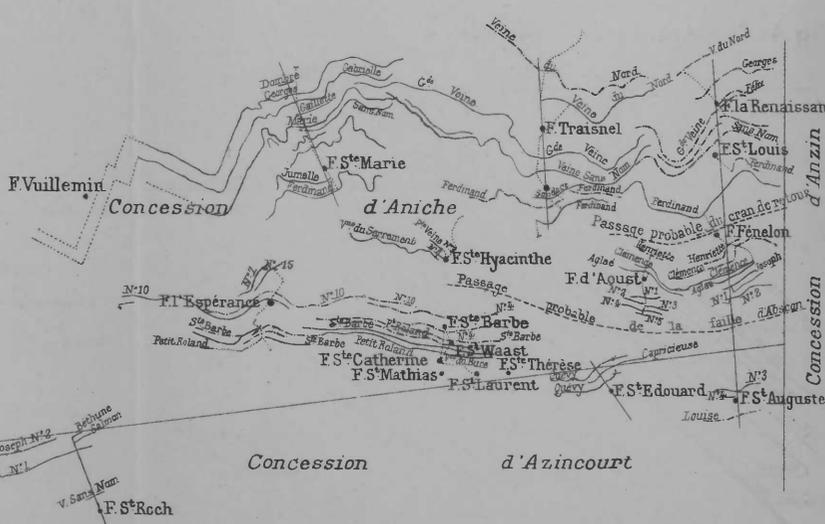


Fig. 6. Plan du gisement de la région d'Aniche



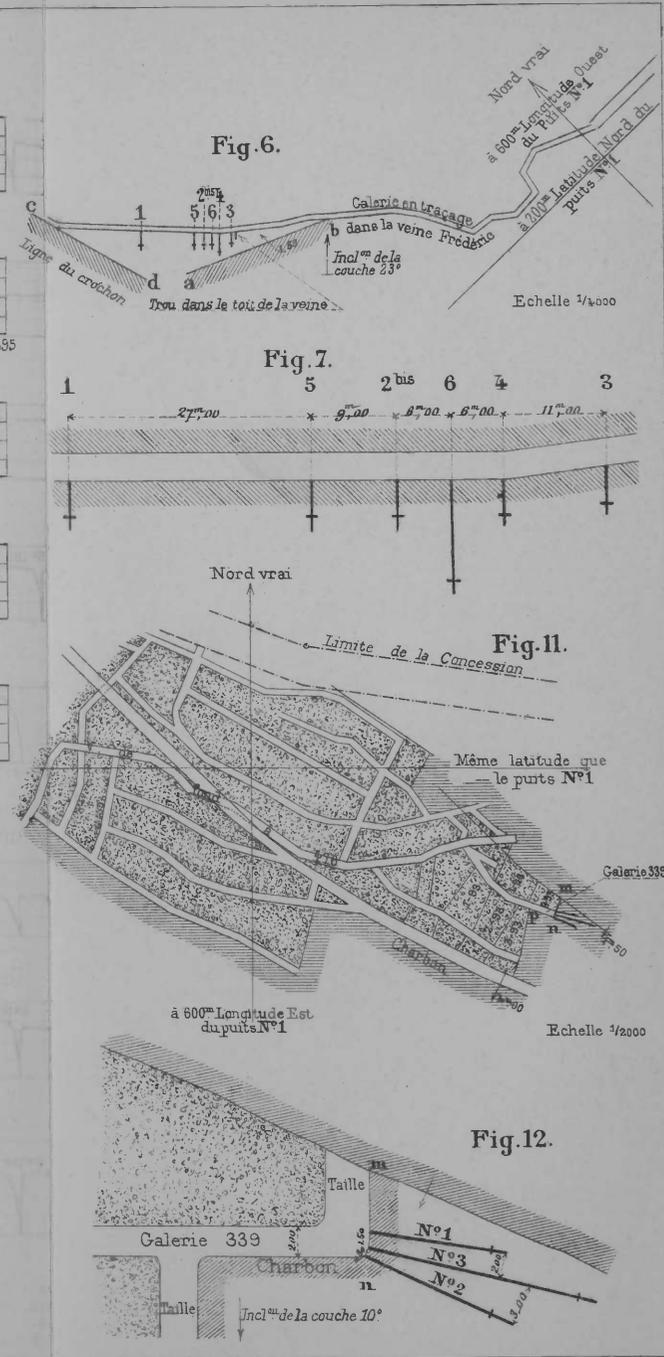
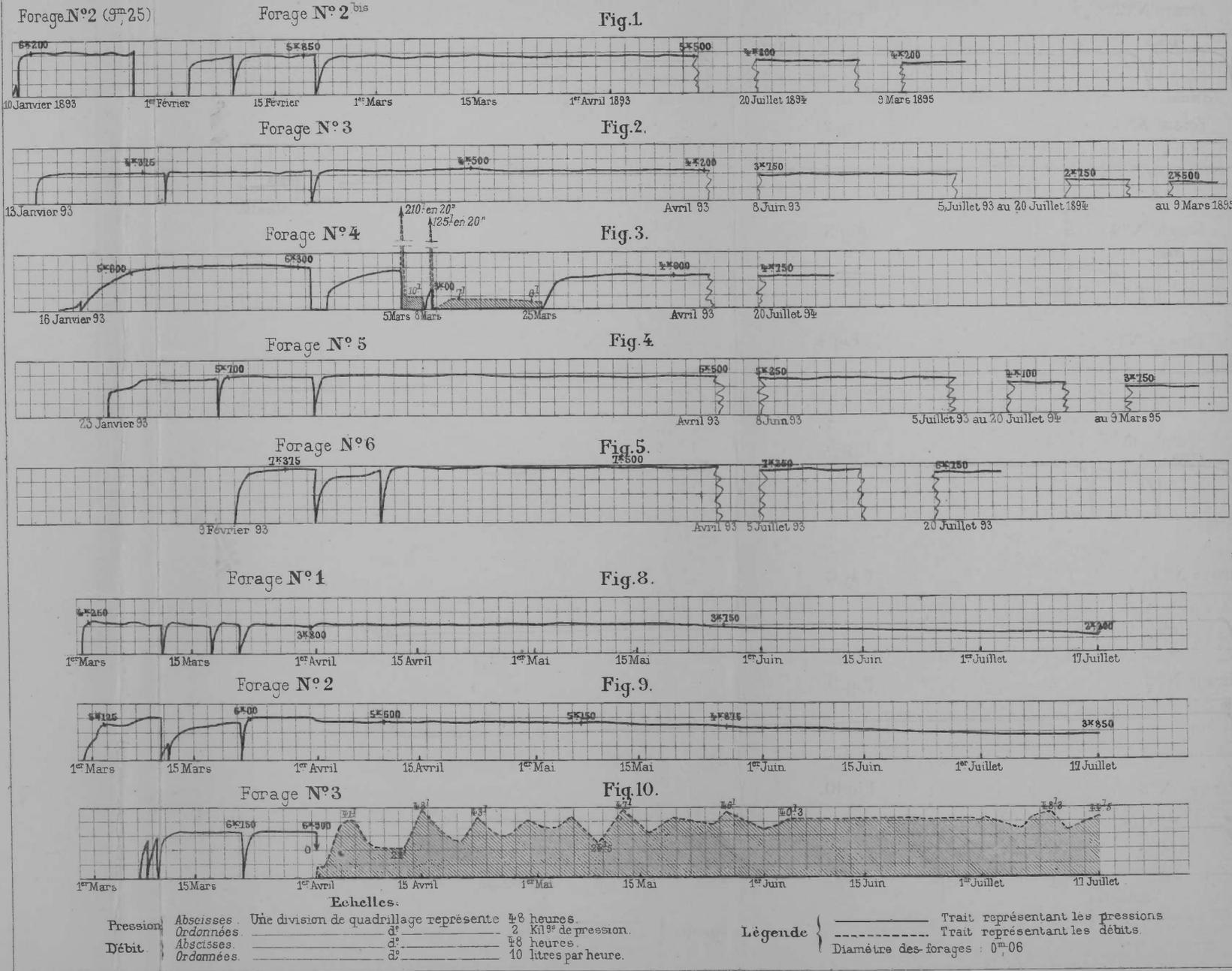


Fig. 2. Coupe Nord-Sud du Djebel Tasbent

Fig. 3. Coupe Est-Ouest du gisement de Troubia

Cercle de Tébessa
Fig. 1. Carte des douars Youks, Tasbent, Troubia et Chéria

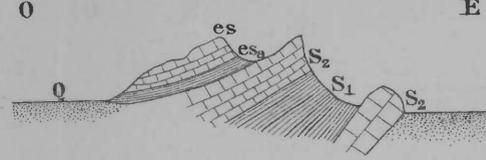
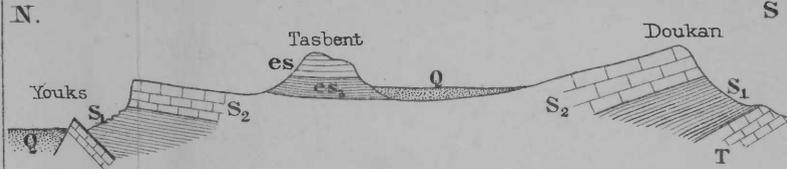
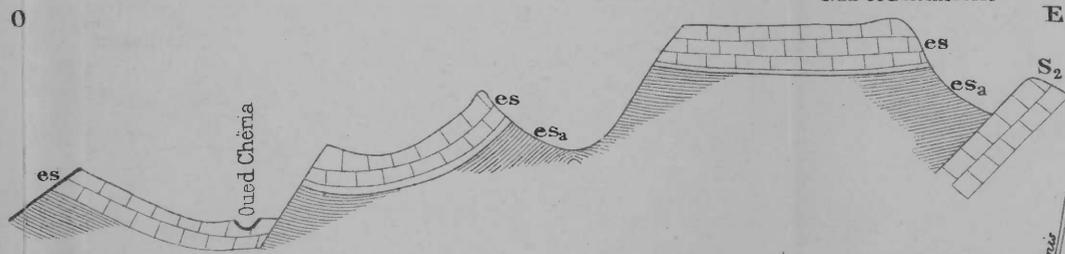
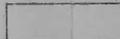
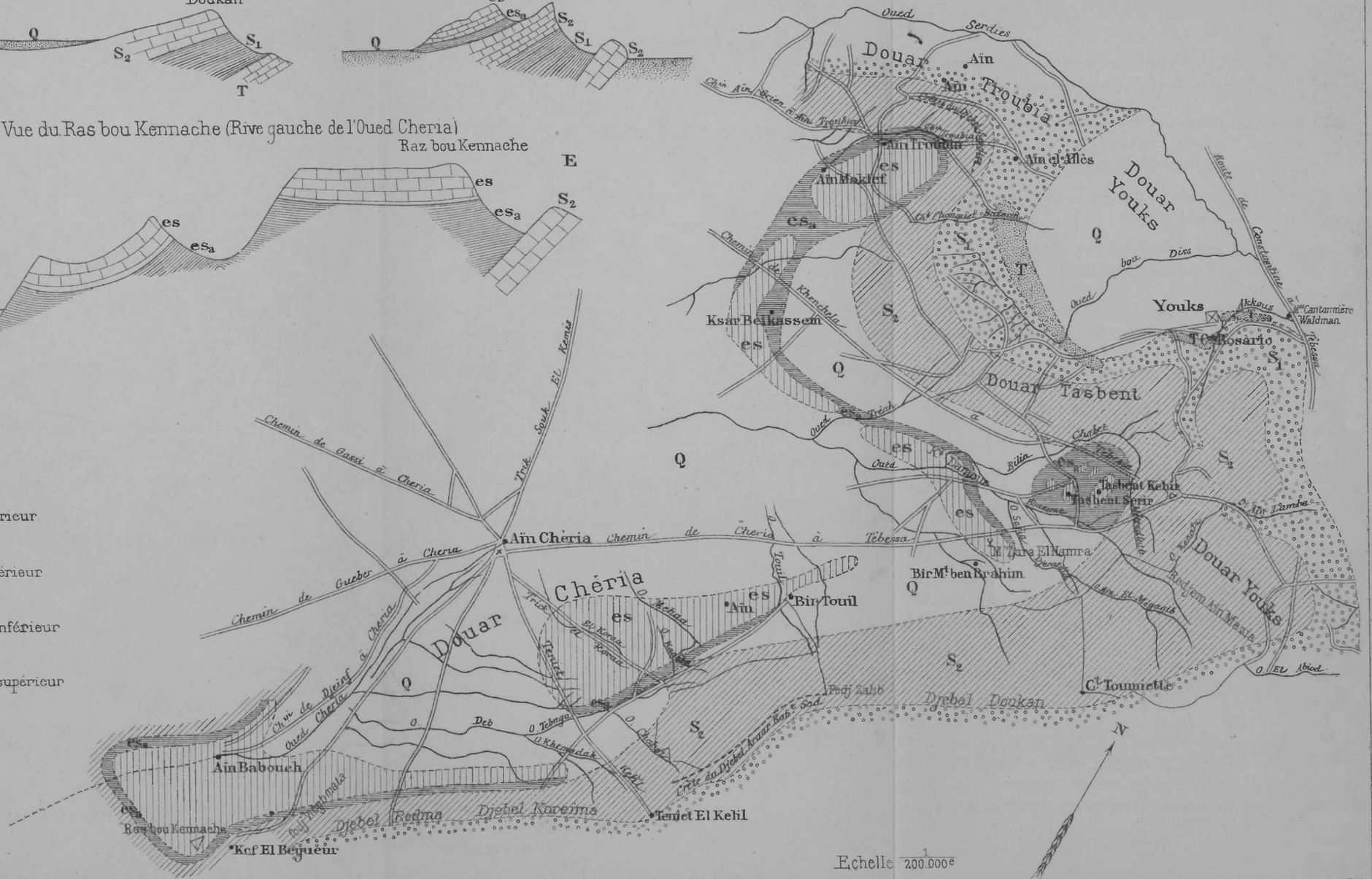


Fig. 4. Vue du Ras bou Kennache (Rive gauche de l'Oued Chéria)



Légende

-  T Turonien
-  S₁ Sénomien inférieur
-  S₂ Sénomien supérieur
-  es_a Suessonien inférieur
-  es Suessonien supérieur
-  Q Quaternaire.



Filon de Pontpéan

Fig. 1. Projection sur un plan vertical parallèle à la direction du filon. (Echelle 0,0002: 5000)

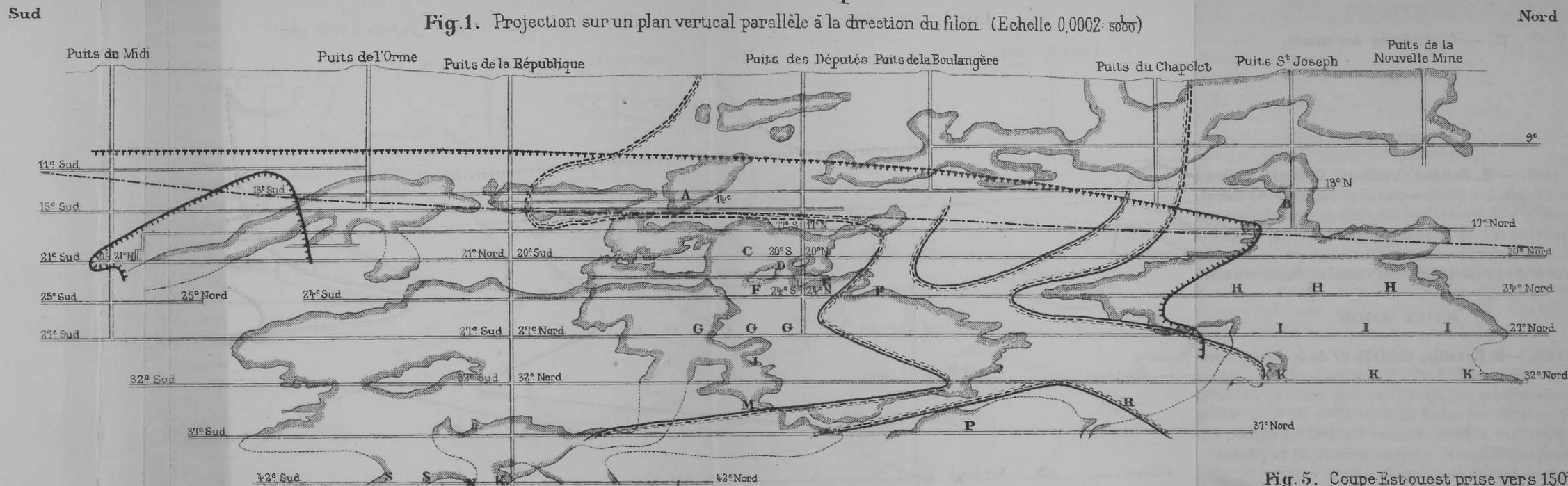


Fig. 2. Coupe Est-ouest, prise au Puits de la Nouvelle Mine, du 1^{er} au 10^{ème} niveau (1/1000)

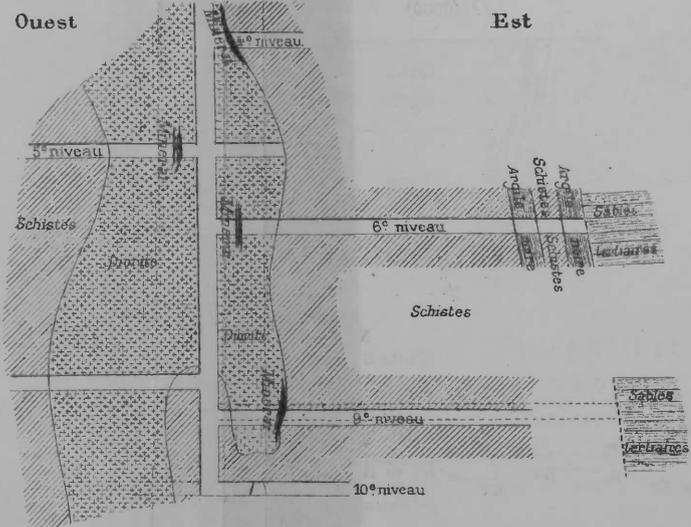
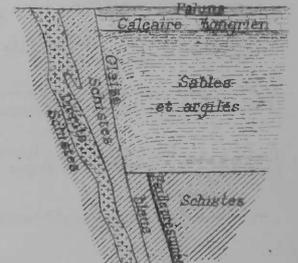


Fig. 3. Coupe théorique entre la Mare de la Salle et la Nouvelle Mine. (1/10000)



Légende, de la Fig. 1.

- Minéral au toit de la glaise bleue
- Minéral au mur de la glaise bleue
- Intersection de la diorite avec le mur de la glaise
- Intersection de la chlorite avec le toit de la glaise
- Fond du bassin tertiaire

Fig. 4. Coupe théorique au Sud du Puits de l'Orme (1/10000)

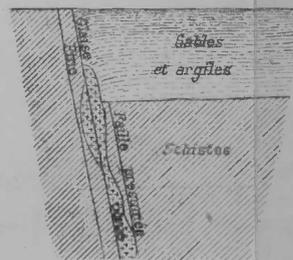


Fig. 5. Coupe Est-ouest prise vers 150^m au Sud du Puits de l'Orme (1/1000)

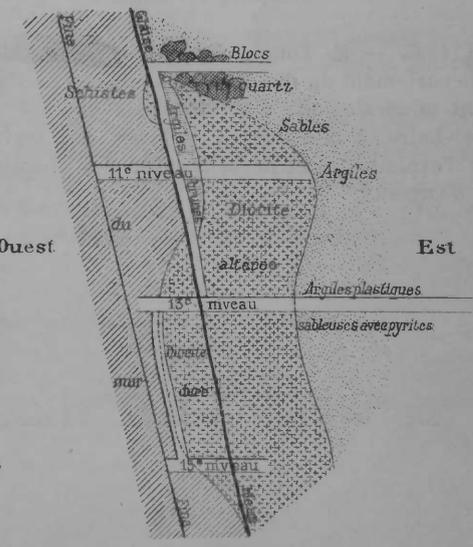
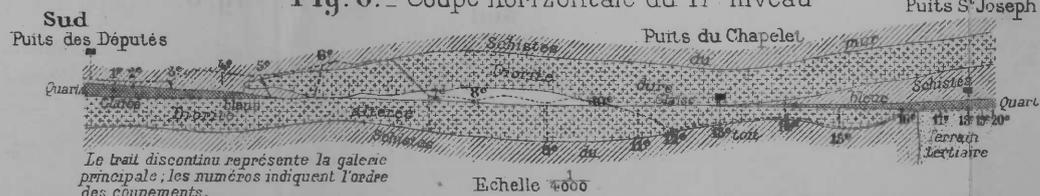


Fig. 6. Coupe horizontale du 17^{ème} niveau



Le trait discontinu représente la galerie principale; les numéros indiquent l'ordre des coupements.

Carte géologique du Massif du Titteri, à l'Est de Boghari (Alger)
par E. FICHEUR.

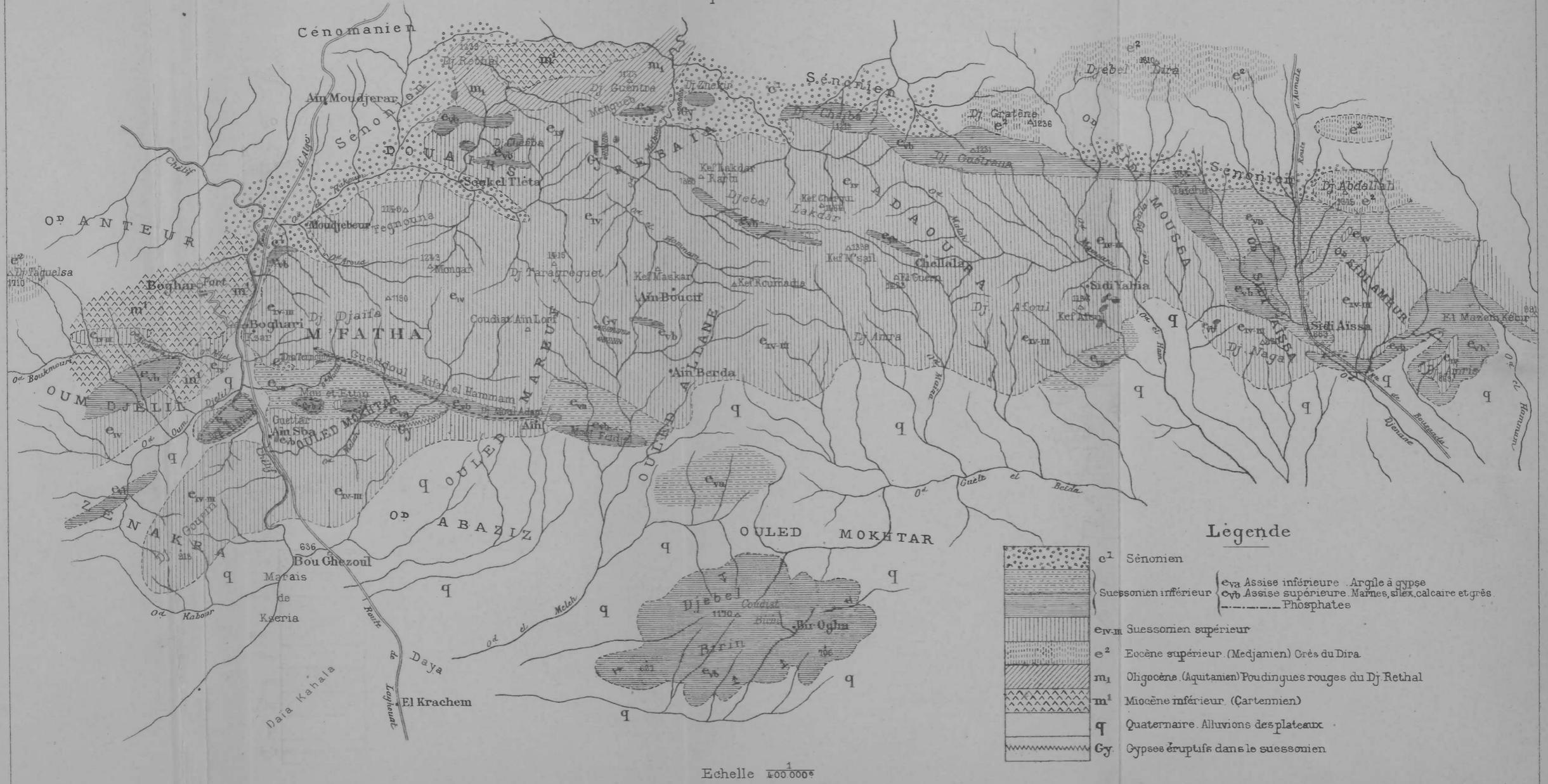


Fig. 1. Coupe relevée sur le flanc Sud du Drâ-el-Abiod (Partie Est) (Boghari)

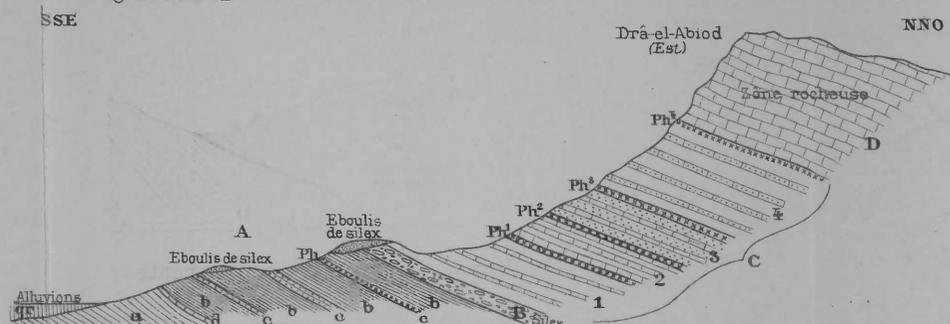


Fig. 2. Coupe dans la partie Ouest du Drâ-el-Abiod (à 2 Kil de la précédente)

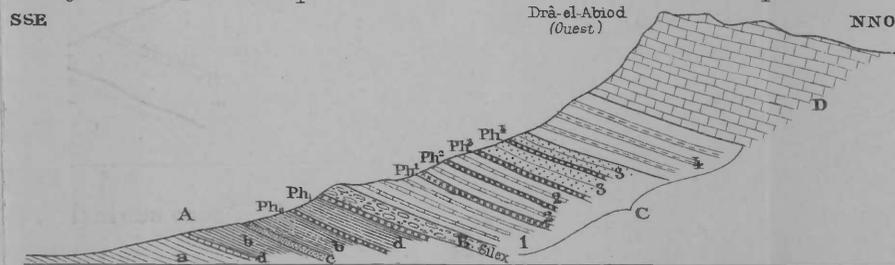


Fig. 3. Coupe relevée en face de la route, en face du 6^e Kilomètre au Sud de Boghari

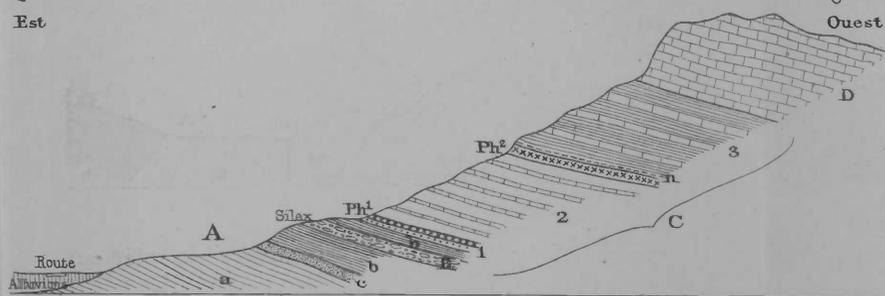


Fig. 4. Coupe par le Coudiat Mou-et-Ettin

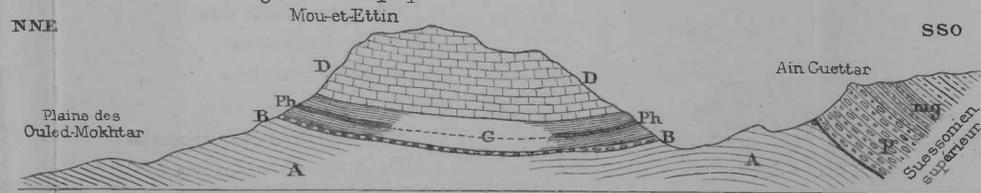


Fig. 5. Coupe au flanc Sud du Drâ-Ternoum; à l'Ouest de l'Oued Nouel (Boghari)

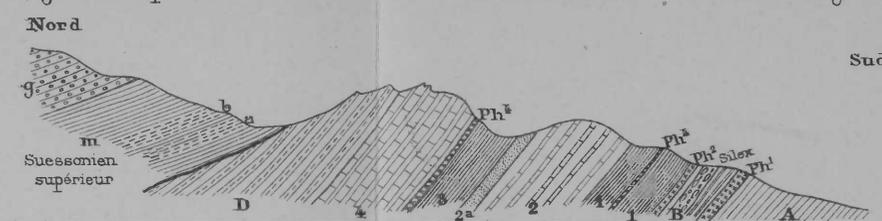


Fig. 6. Coupe relevée sur les pentes inférieures du Djebel Gueddoul, à l'Est du Chabet Nouel

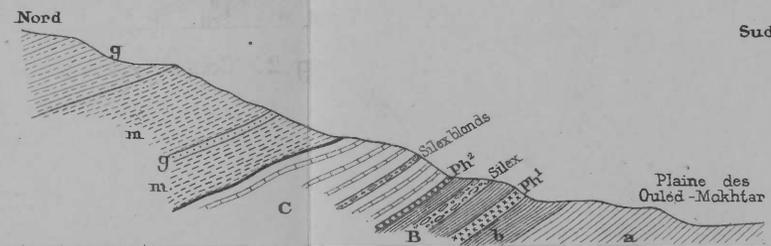
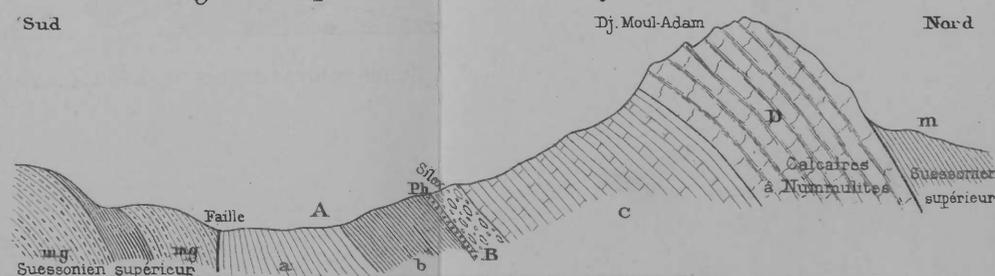


Fig. 7. Coupe sur le flanc Sud du Djebel Moul-Adam



Légen de commune

Suessonien inférieur		Suessonien supérieur	
A	Assise argileuse inférieure	g	Marnes à Ostrea Bogharensis
a	Argiles à gypse	p	Poudingues.
b	Argiles schisteuses	g et m.g.	Crès... Marnes et grès
c	Grès et glauconie		
d	Marnes blanches		
B	Couche à silex		
C	Marnes et calcaires marneux (Assise moyenne)		
Ph	Couches phosphatées		
D	Calcaires et grès (Assise supérieure)		

Echelles approximatives:
 Fig. 4 1/13.333.
 Fig. 1 à 3 et 5 à 7 1/2 1/2.666.

Fig. 1. Coupe sur les pentes inférieures à l'Est du Kef Afoul

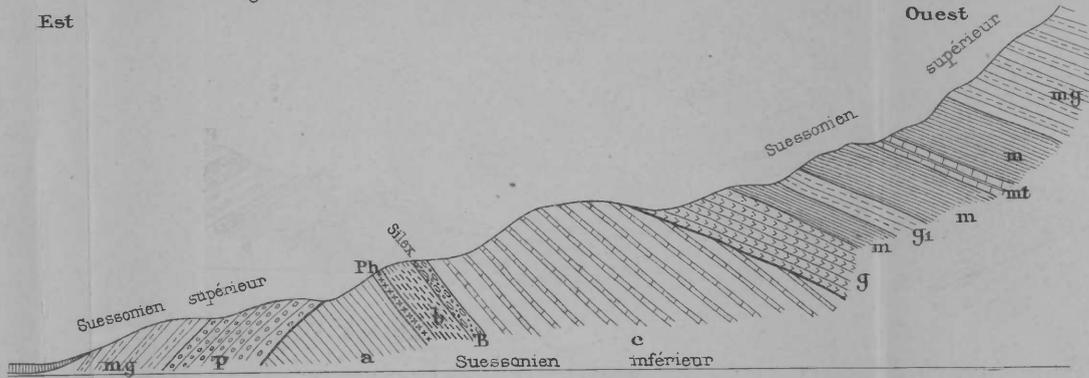
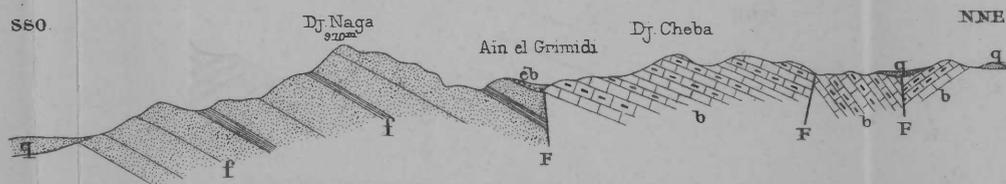


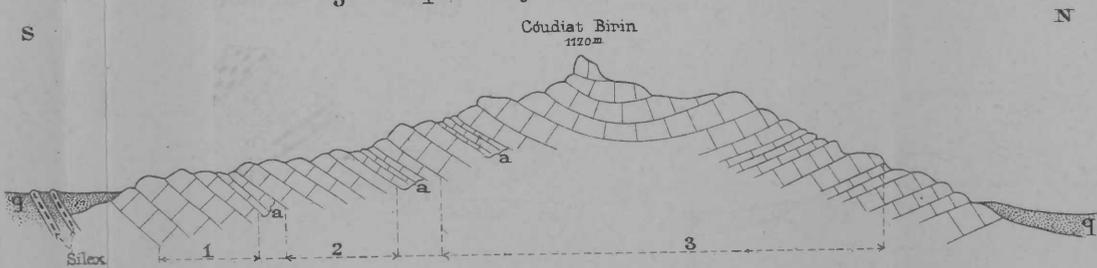
Fig. 2. Coupe du Djebel Naga immédiatement à l'Ouest de Sidi-Aïssa



Légende

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| b Calcaires marneux à silix. | f Grès et marnes Suessonien supérieur |
| q Quaternaire ; limons et sables. | éb Eboulis |

Fig. 5. Coupe du Djebel Birin (S.E. de Boghar)



Calcaires suessoniens de Birin

- | | |
|---|--|
| 1 Bandes à Nummulites et Thersites | 3 Calcaires à Nummulites rares. |
| 2 Bandes à Gastropodes, (Turritelles, Cérithes, etc.) | a Bancs calcaires peu épais, moins durs que les autres |

Fig. 3. Coupe relevée dans les collines du Sud de Sidi-Aïssa

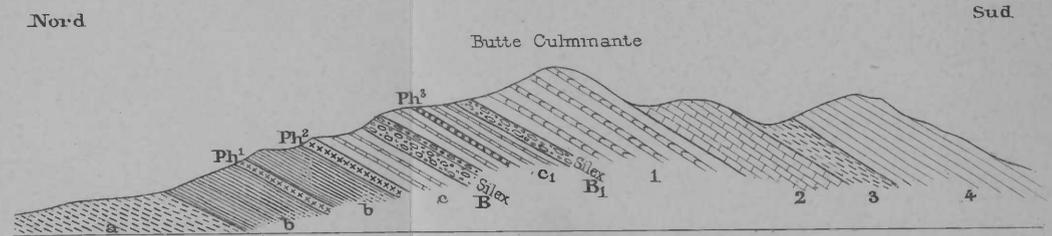
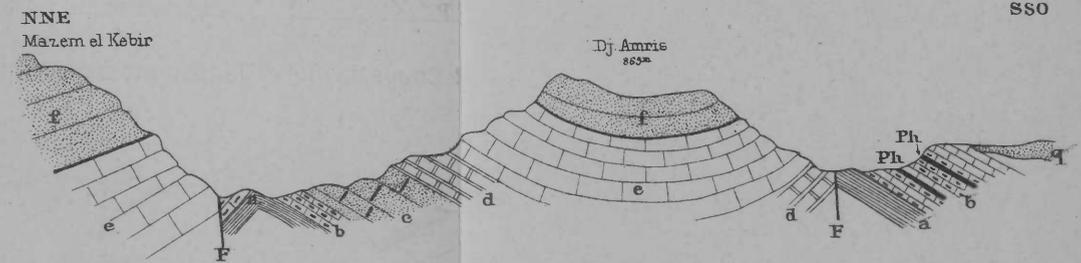


Fig. 4. Coupe du Djebel Amris, à l'Est de Sidi-Aïssa

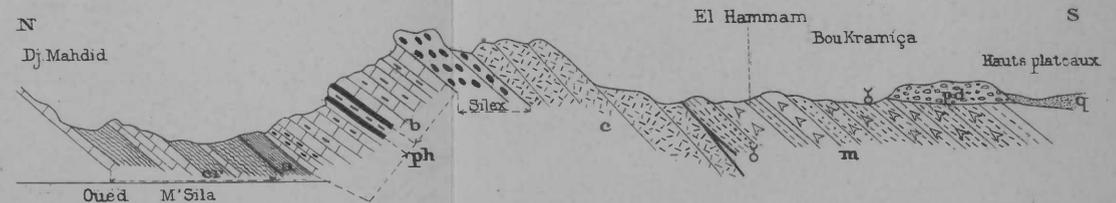


Suessonien inférieur

Suessonien supérieur

- | | |
|---|-------------------------------|
| a Marnes noires | f Grès et marnes |
| b Calcaires à silix | |
| c Calcaires phosphatés à Nummulites | F Faille |
| d Calcaires coquilliers durs | ph Banc de phosphate de chaux |
| e Calcaires très durs à huîtres et à Nummulites | |

Fig. 6. Coupe du flanc sud du Djebel Mahdid, au N. de Msila



Légende

Suessonien inférieur

- | | |
|--|---|
| a Marnes noires | cr Marnes et calcaires sénoniens |
| b Calcaires marneux à silix. | ph Bancs de phosphate |
| c Calcaires à Ostrea strictiphcata et à Nummulites | m Argiles et grès tendres à gypse-oligocène |
| | pd Poudingues phocènes |
| | q Quaternaire des plateaux |

Fig. 1.

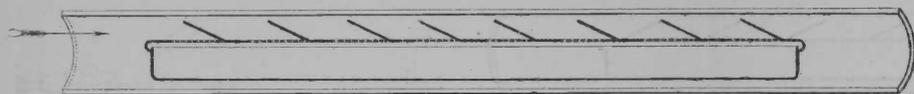


Fig. 2.

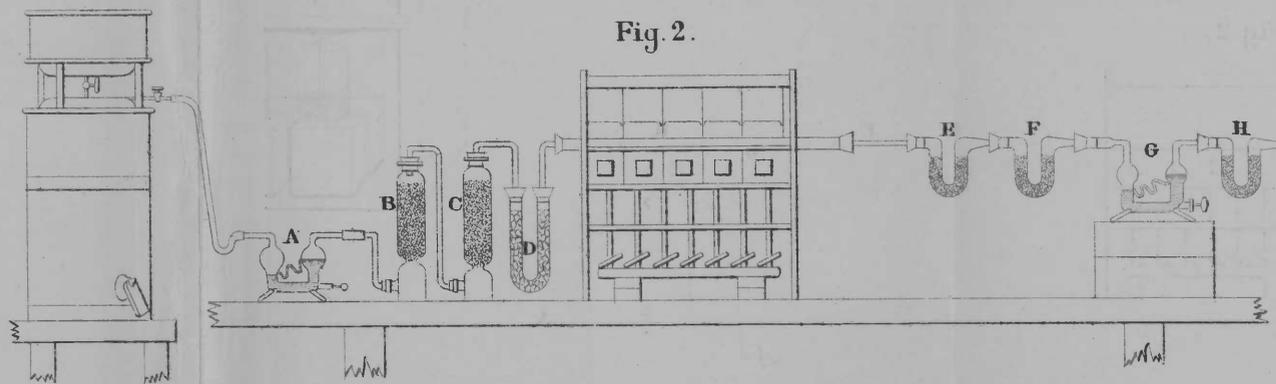


Fig. 3.

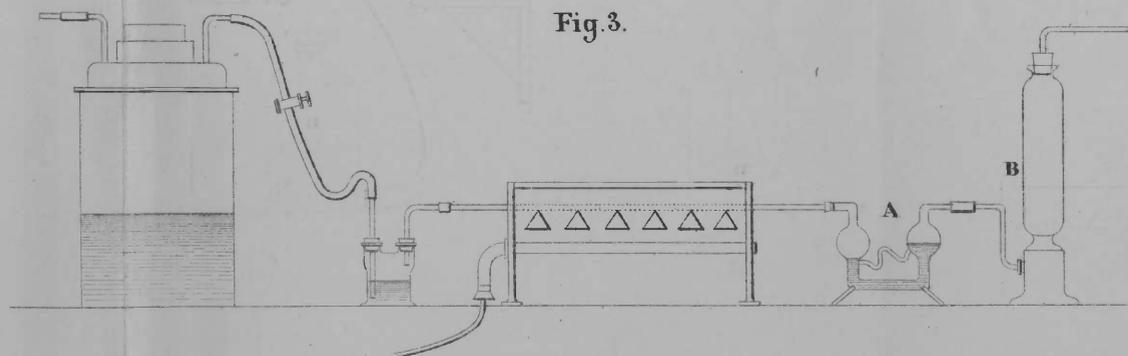


Fig. 4.

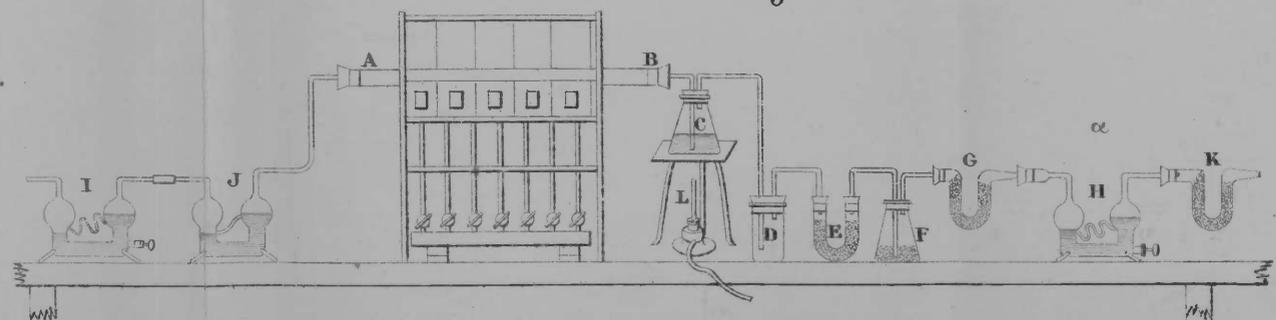


Fig. 6.

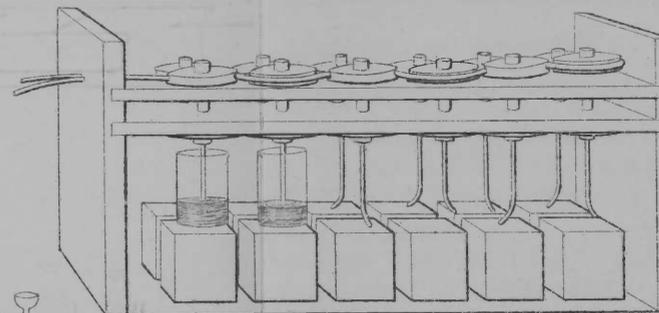


Fig. 7.



Fig. 5.

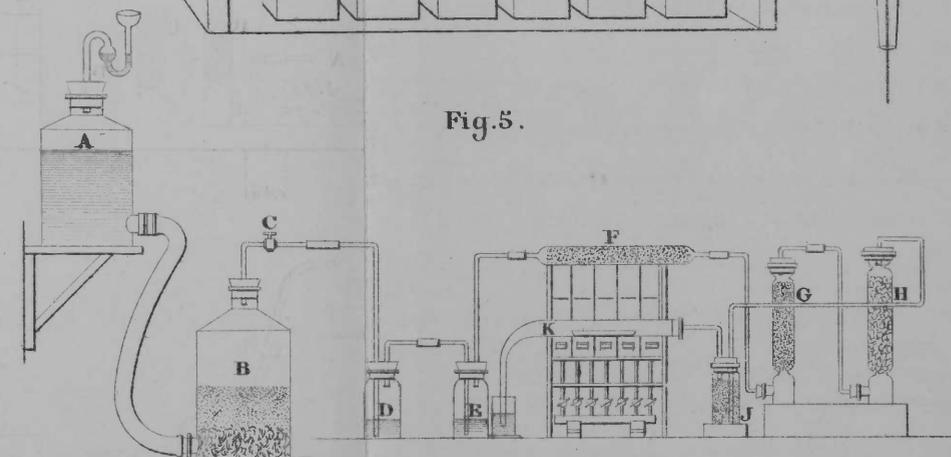


Fig. 8.

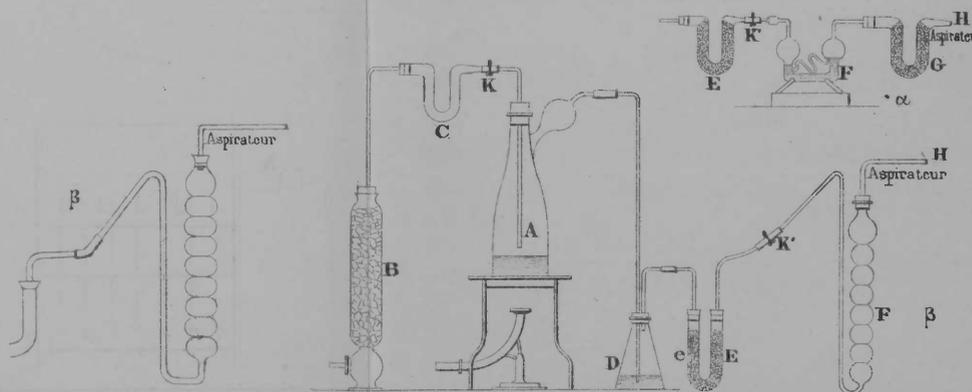


Fig. 1.

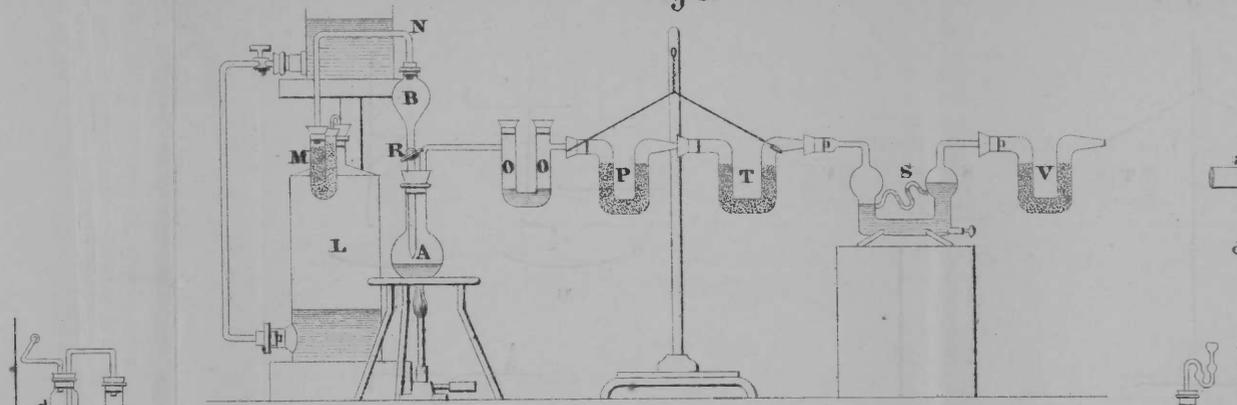


Fig. 3.

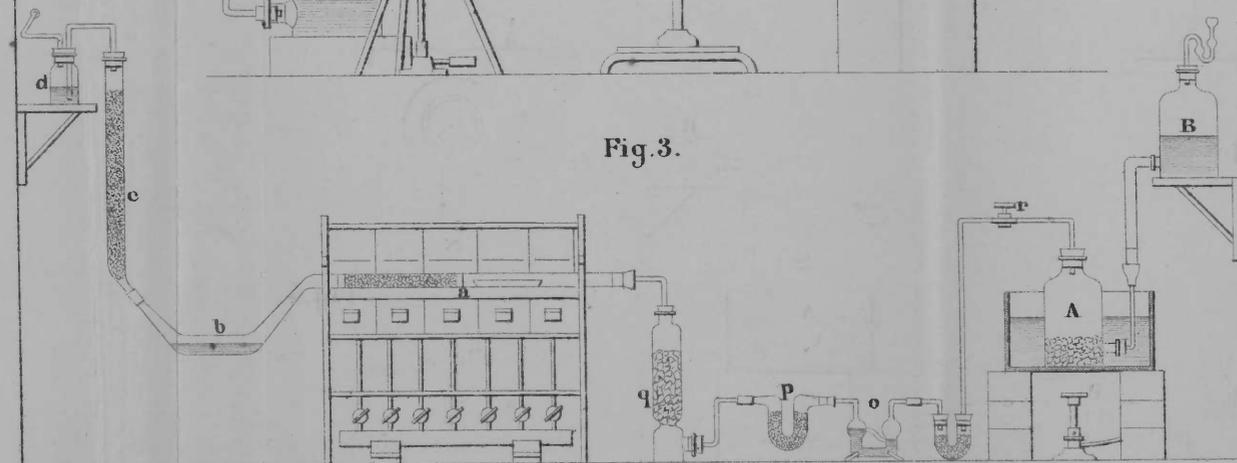


Fig. 6.

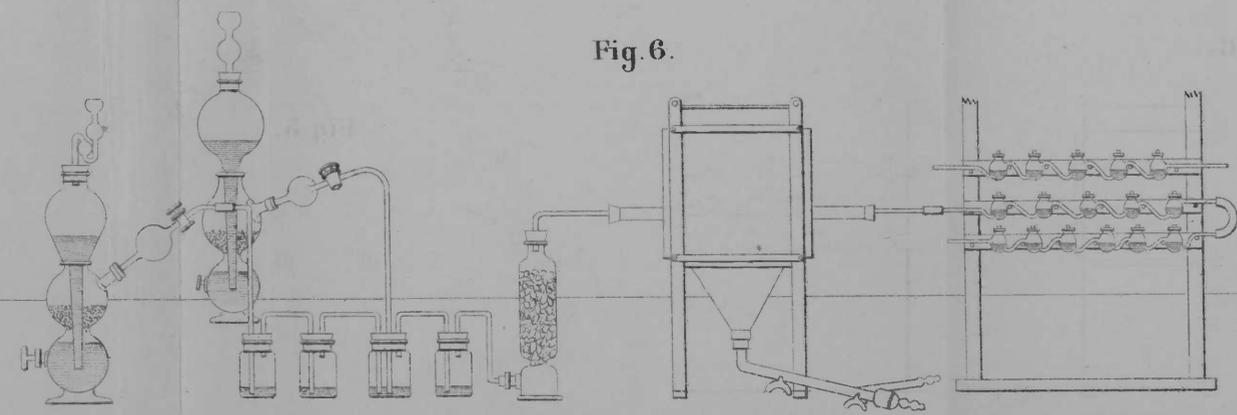


Fig. 2.

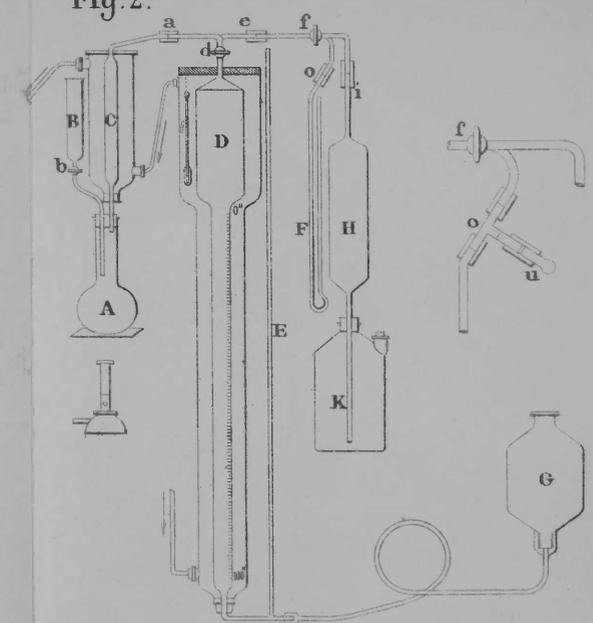


Fig. 4.

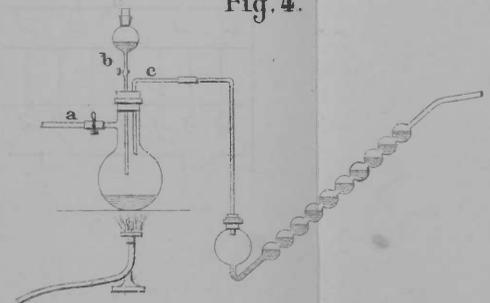


Fig. 5.

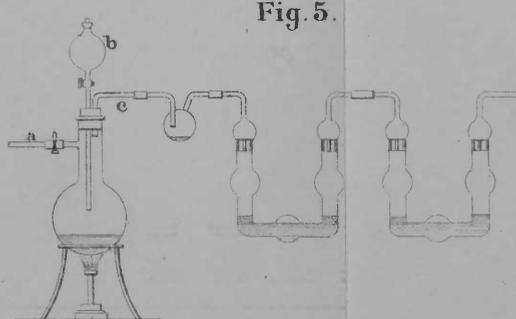
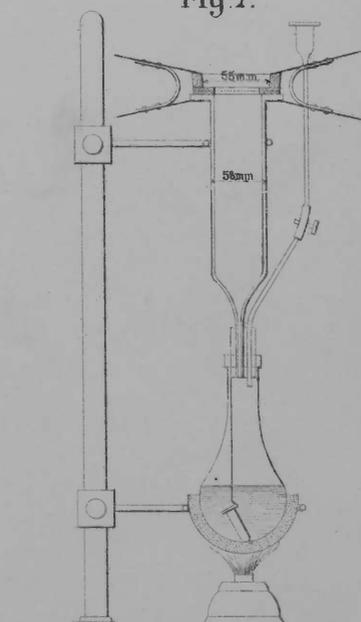


Fig. 7.



Câbles de Plans aériens.

Abaques de X et de Y

Abaques de S et de Δ

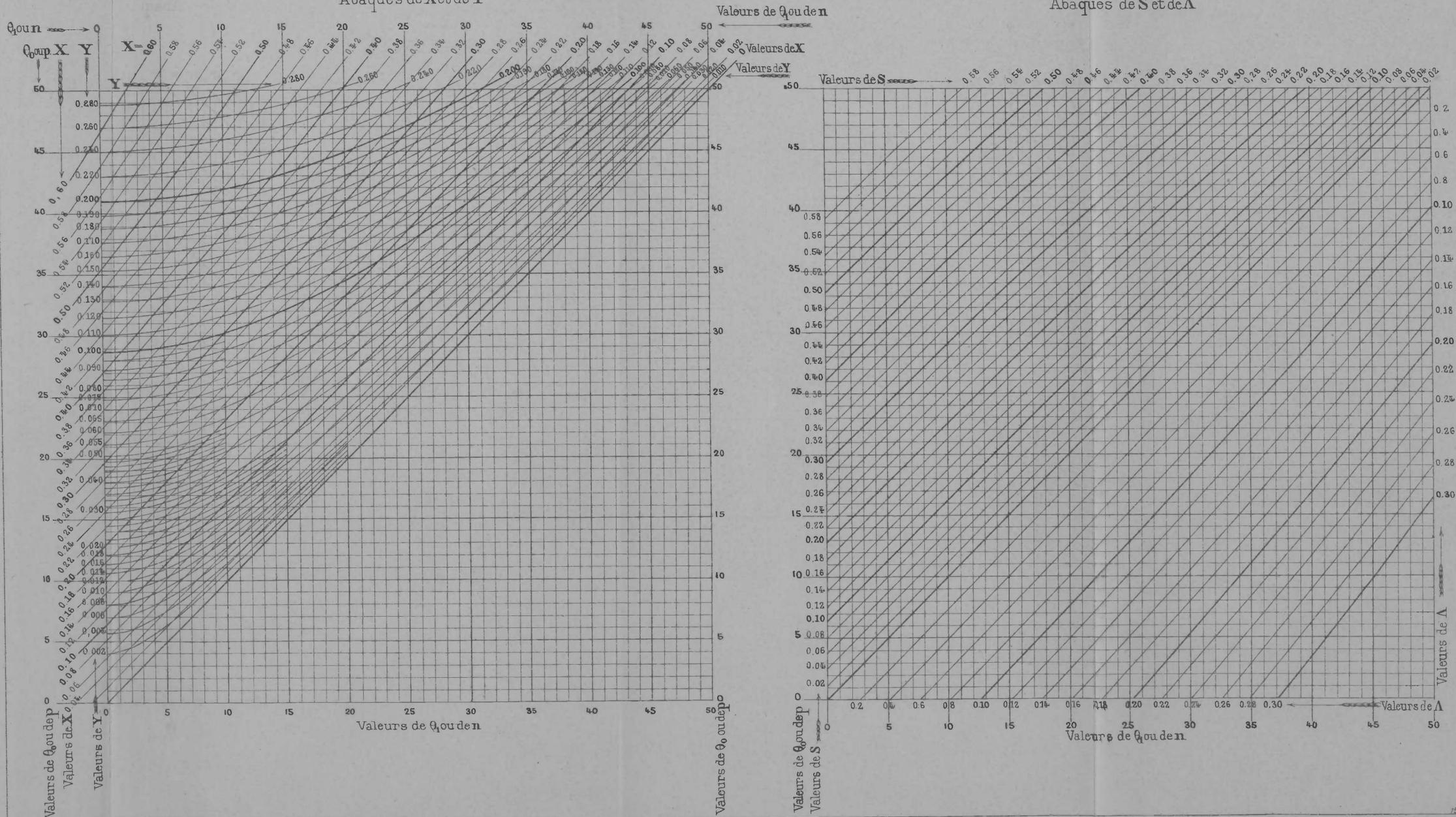
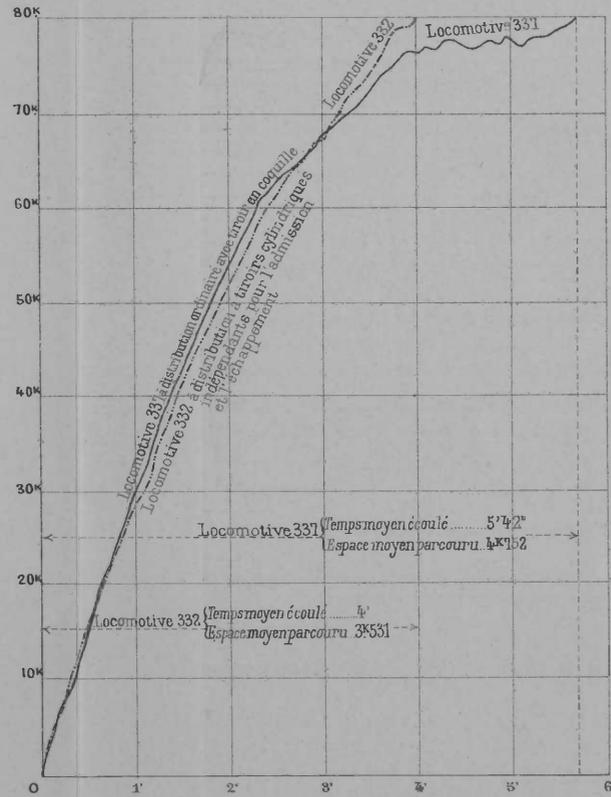


Fig. 1. Courbes moyennes comparatives de mise en vitesse.



	Tonnages moyens	Travail moyen
Locomotive 332	151 T 156	285 ch ^x 6
Locomotive 331	153 T 316	271 ch ^x 5

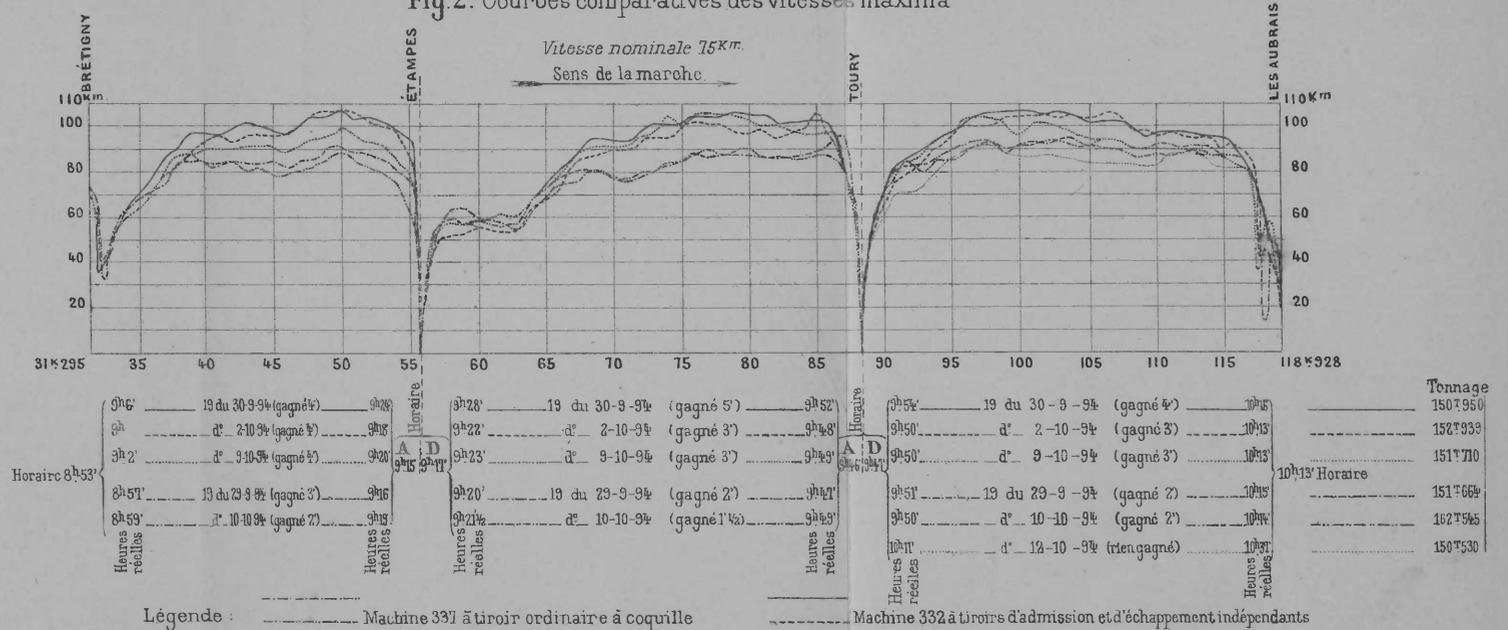
soit 5% en plus pour la machine 332

Echelles { Abscisses (Temps)..... 1^m 25 pour 6"
Ordonnées (Vitesses) 1^m 25 pour 1 kilom à 1 heure

Nota:

Les vitesses moyennes ont été calculées sur 6 trains par machine en relevant les vitesses de 6" en 6" pour chaque train au départ de Toury

Fig. 2. Courbes comparatives des vitesses maxima



Nota: Les lignes reliant les heures réelles aux N^{os} et dates des trains ont le même tracé que les courbes de vitesses auxquelles ces trains se rapportent

Fig. 3. Profil en long entre Brétigny et Les Aubrais

