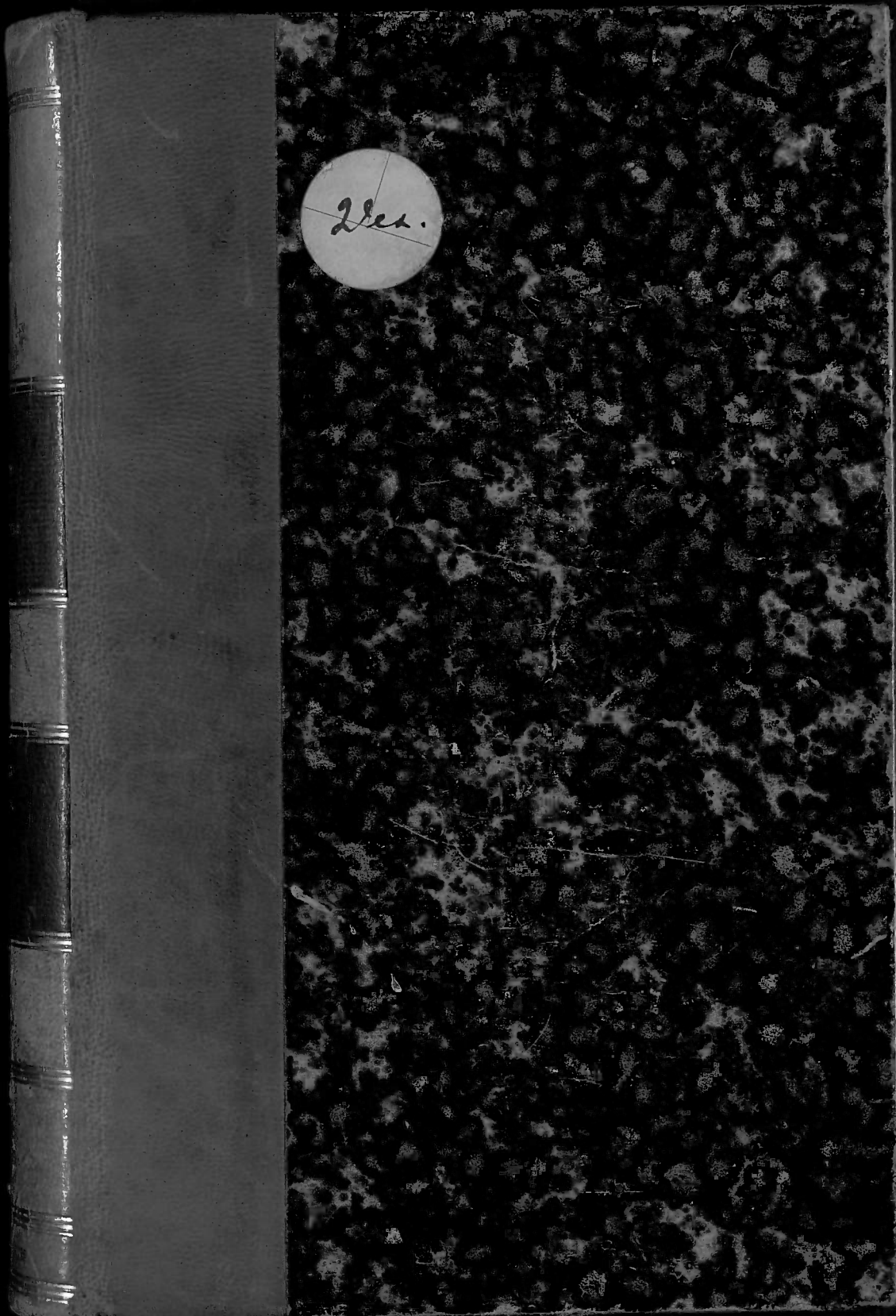

2 Ves.

S108

ANNALES

DES MINES

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES
Entrée
BIBLIOTHÈQUE
bis
1 =

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.

Linder, inspecteur gén. des mines, *président*.
Castel, inspecteur général.
Haton de la Goupillière, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.
Orsel, inspecteur général.
Résal, inspecteur gén., professeur à l'École supérieure des mines.
Lorieux, inspecteur général.
Massieu, d°
Villot, d°
Peslin, d°
Vicaire, inspect. gén., professeur à l'École supérieure des mines.
Carnot, insp. gén., inspecteur de l'École supérieure des mines.
Aguillon, insp. gén., professeur à l'École supérieure des mines.

MM.

Keller, insp. gén., secrétaire de la Commission de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur.
Cheysson, insp. gén. des ponts et chaussées, professeur à l'École supérieure des mines.
Potier, ingénieur en chef, prof. à l'École supérieure des mines.
Ledoux, d°
Douvillé, d°
Bertrand, d°
Le Chatelier, d°
Lodin, d°
Sauvage, ing. des mines, profes. à l'École supérieure des mines.
Termier, d°
De Launay, d°
Zeiller, ingénieur en chef, *secrétaire de la Commission*.

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 1f,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0f,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

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

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

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

ANNALES
DES MINES
OU
RECUEIL
DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

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

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

NEUVIÈME SÉRIE

MÉMOIRES. — TOME IX.

PARIS

Vve Ch. DUNOD et P. VICQ, ÉDITEURS

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

Quai des Grands-Augustins, 49

1896

ANNALES
DES MINES

LES MINES D'OR DU TRANSVAAL

DISTRICTS DU WITWATERSRAND, D'HEIDELBERG ET DE KLERKSDORP

Par M. L. DE LAUNAY,
Ingénieur des mines, professeur à l'École supérieure des Mines.

Au mois de janvier 1891, nous avons publié ici même un premier mémoire sur les mines d'or du Transvaal. Notre attention avait été, à cette époque, vivement attirée sur ce pays par les rapports tout particulièrement développés et étudiés, que M. Aubert, consul de France à Pretoria, consacrait chaque année au progrès de son industrie. Depuis lors, nous n'avons cessé de nous intéresser de loin à cette importante question (*), et, cette année, enfin, ayant pu faire au centre de ces mines, à Johannesburg, un séjour de deux mois, nous nous sommes trouvé en mesure de compléter, par des observations personnelles, les connaissances que, jusque-là, nous avions seulement acquises de seconde main. C'est le résultat de ce travail que nous voudrions donner ici. Bien que, depuis 1891, plusieurs ouvrages importants, tels que ceux de Hamilton Smith, Schmeisser, Goldmann, Hatch et Chal-

(*) Voir : *Nature* du 3 octobre 1891, « Les mines d'or du Transvaal » ; Bull. des *Annales des Mines*, janv. 1892 : « Nouveaux gisements d'or au Cap » ; *Ibid.*, juillet 1892, « Développement des mines d'or du Transvaal ».

mers (*) aient paru en langue étrangère sur le Transvaal, il reste, croyons-nous, quelque chose à y ajouter, surtout en ce qui concerne la géologie des gisements ; et, quant à la description des mines et des procédés de traitement, le développement industriel est, en ces pays neufs, tellement rapide, que quelques mois à peine écoulés renouvellent le sujet ; d'ailleurs, en français, les publications scientifiques ou techniques sur le Transvaal continuent à faire défaut (**).

Comme l'indique le titre de cet article, notre intention est de nous restreindre absolument aux champs aurifères du Witwatersrand, de Heidelberg et de Klerksdorp, en laissant de côté ceux de de Kaap (Barberton), Komati, Lydenburg, Murchison Range, Zoutpansberg, etc., également situés au Transvaal et, à plus forte raison, ceux du Zoulouland, du Mashonaland ou du Bechuanaland, récemment trouvés dans les régions voisines. Nous désirons, en effet, ne parler que de ce que nous avons vu par nous-même, et, notre séjour en Afrique Australe n'ayant pu avoir qu'une durée restreinte, nous avons préféré limiter nos efforts sur un sujet bien déterminé, et formant par

(*) Hamilton Smith, *The Witwatersrand goldfields. Times*, 17 janv. 1893 ; Schmeisser, *Uber Vorkommen und Gewinnung der nutzbaren Mineralien in der Sudafrikanischen Republik*. Berlin, 1894 ; Goldmann, *South african mining and finance* (une seconde édition en trois volumes de cet important ouvrage paraît au moment où nous écrivons) ; Hatch et Chalmers, *The gold Mines of the Rand*, 1895 (cet ouvrage nous parvient également pendant l'impression de ce mémoire).

On peut encore consulter les revues anglaises : *South african mining journal* ; *South Africa* ; *South african financial record*. — Nous avons cherché à donner, autant que possible, des figures différentes de celles qui ont paru dans ces ouvrages, de manière à en former sur ce point le complément.

(**) Nous citerons seulement : Bel, *Les Mines d'or du Transvaal*, *Economiste français*, 15 oct. 1892. — Perrierde la Bathie, *Traitement des résidus des moulins à or par le cyanure de potassium au Witwatersrand*, *Génie civil*, février 1895. — Garnier, *Théorie de la formation aurifère du Witwatersrand* (*Nature*, 17 octobre 1894).

lui-même un tout complet, au lieu de les éparpiller dans toutes les directions.

Les champs d'or du Witwatersrand, de Heidelberg et de Klerksdorp, que nous allons décrire, présentent ce caractère spécial qu'ils sont constitués, non de filons de quartz aurifère analogues à ceux de Californie et d'Australie, comme à Lydenburg, à Barberton, ou au Mashonaland, mais de poudingues, ou conglomérats aurifères (banket), présentant, tout au moins en ce qui concerne l'exploitation, un caractère nettement sédimentaire. Ils font, d'ailleurs, tous trois partie d'une seule et même formation géologique que nous aurions pu appeler d'un mot, si nous n'avions craint d'être mal compris, le synclinal du Witwatersrand, et cette formation, dont on peut hypothétiquement supposer le développement plus ou moins grand, n'a été jusqu'à présent constatée que dans les trois champs aurifères en question, de telle sorte que, en nous bornant à les étudier, nous aurons pourtant traité le sujet, au moins pour le moment, dans toute son étendue.

Dans ce travail, nous nous attacherons à suivre un ordre logique, c'est-à-dire que nous commencerons par décrire les gisements d'or, tels que la nature nous les livre, en examinant leur géologie ; après quoi, nous dirons quelques mots sommaires sur les progrès les plus récemment accomplis dans les procédés d'extraction et d'élaboration.

Sur ces diverses questions, nous nous proposons de donner à peu près exclusivement nos observations personnelles en ce qu'elles peuvent avoir de nouveau, laissant de côté, vu les dimensions forcément restreintes de ce mémoire, ce qui s'est trouvé déjà dit dans d'autres ouvrages (*).

(*) Nous aurons l'occasion très prochainement d'envisager le même sujet, d'une façon plus générale, sous une forme moins technique et avec les détails de toute nature qu'il comporte, dans un volume en cours d'impression chez Baudry et Cie.

Il va de soi, du reste, que, dans ce recueil, nous nous attacherons, autant que possible, à éviter tout ce qui pourrait sembler une appréciation financière sur la valeur ou l'avenir de telle mine en particulier ; néanmoins, la France a pris, depuis deux ou trois ans, un intérêt tellement considérable en ce pays, et les centaines de millions engagés dans ces mines d'or ont semblé, dans ces derniers temps, courir de telles aventures, qu'il sera peut-être utile de faire connaître sans réserves ce que nous croyons être la vérité, au moins sur l'allure géologique des gisements, en rectifiant à l'occasion quelques idées fausses assez répandues. Des événements tout récents et présents à tous les esprits, d'abord des excès de spéculation effrénés, puis une panique soudaine, à laquelle aucune déception dans le rendement des mines n'avait encore servi de prétexte, ont montré à l'évidence que, pour la plupart de ceux qui avaient pris un intérêt dans ces affaires, leurs actions représentaient un simple billet de loterie, et non une participation à une industrie très sérieuse, avec plus ou moins de risques prévus comme les chances de bénéfice ; il serait à souhaiter qu'on envisageât désormais ces questions d'une manière un peu plus rationnelle et moins nerveuse, surtout que l'on apprît un peu mieux à distinguer l'ivraie du bon grain, et les affaires ne reposant que sur une simple hypothèse de celles où la richesse du gîte a été plus ou moins complètement reconnue ; nous serions heureux si, dans la faible mesure de nos forces, nous avions pu y contribuer.

Première partie. — Géologie.

Dans ce chapitre, nous étudierons successivement : *A*. La *géologie générale de la région*, c'est-à-dire l'allure d'ensemble : 1° des couches anciennes aurifères ; 2° des dépôts charbonneux du Karoo ; — *B*. Les *gisements d'or*, formés, comme on le sait, de conglomérats à galets quartzeux ou, plus rarement, de quartzites nettement interstratifiés, auxquels nous laisserons souvent le nom de *reefs*, sous lequel ils sont universellement connus, bien que ce nom, dans les autres pays, s'applique, en général, plutôt à un filon (*) ; — puis nous envisagerons plus spécialement : *C*. Les *minerais d'or*, examinés dans le détail de leur structure ; — *D*. La *teneur des minerais* et ses *variations* ; — enfin : *E*. L'*origine et le mode de formation des dépôts et des minerais*.

A. — Géologie générale de la région.

Nous ne reviendrons pas ici sur ce que nous avons dit autrefois de la géologie de l'Afrique du Sud ; nous en rappellerons seulement le trait le plus essentiel, c'est-à-dire l'existence, au-dessus d'un soubassement de gneiss et de granite, de terrains anciens, siluriens, dévoniens et carbonifères, fortement plissés et érodés que surmontent, à leur tour, en stratification discordante, les grands plateaux horizontaux du Karoo, comprenant des couches sans fossiles marins de plusieurs milliers de pieds d'épaisseur, allant depuis le permien et peut-être même le carbonifère supérieur jusqu'à l'infralias.

C'est dans les terrains anciens plissés que se trouvent les conglomérats aurifères ; c'est dans les couches horizontales du Karoo qui les recouvrent, que se trouvent, à leur voisinage immédiat, les importants dépôts de houille à l'aide desquels on les exploite.

(*) Littéralement, récif.

1° Granite, gneiss et série primaire aurifère. — Nous commencerons par étudier cette série sur deux coupes nord-sud que nous avons pu relever nous-même aux environs de Johannesburg et que nous décrirons d'abord avec quelque minutie sans faire aucune hypothèse sur l'âge des terrains. Comme nous allons le voir, on trouve, du Nord au Sud : d'abord le granite et les gneiss, puis des quartzites avec schistes et grès fins ferrugineux, une nouvelle série de quartzites renfermant les diverses couches aurifères depuis le Main-Reef (couche principale) au Nord, jusqu'au Black reef (couche noire) au Sud, des calcaires dolomitiques et encore d'autres quartzites fins (série du Gatsrand) occupant le fond d'un synclinal ; après quoi, des couches semblables reparaissent de nouveau en ordre inverse. Cette description, qui semblera, sans doute, parfois assez aride, a pour but de nous permettre plus tard d'émettre et de discuter une hypothèse doublement intéressante par ses conséquences à la fois théoriques et pratiques : à savoir, la disposition des conglomérats où se rencontre l'or en forme de synclinal (ou fond de bateau), de direction générale N.-E. — S.-O., pouvant géologiquement se prolonger assez loin vers le Nord-Est comme vers le Sud-Ouest (Pl. II, *fig.* 2).

Ainsi que le montrent les figures 1 à 3, Pl. I, il suffit de s'éloigner à environ 2.500 mètres au nord de Johannesburg pour rencontrer une grande masse de *granite* et de *gneiss* de plusieurs kilomètres de large, qui s'étend à partir de là, avec une direction est-ouest, parallèlement à tous les plissements de la région ; cette roche apparaît là, par un fait que l'on a l'occasion d'observer un peu dans tous les pays et que nous avons étudié notamment en Bourbonnais, dans une voûte anticlinale des terrains anciens plissés.

Ce granite est malheureusement, comme cela arrive souvent pour les terrains anciens de cette région, masqué

en grande partie par des limons superficiels, en sorte qu'on ne peut pas examiner son contact avec les couches sédimentaires, ce qui eût peut-être donné une indication intéressante sur son âge relatif par rapport à celles-ci. Il est absolument semblable au granite du Plateau central français ; on y trouve des veines de granulite : notamment, près d'Houten Estate, une granulite à grains fins, à micas verdis et pyrite de fer, accompagnée de quartz pyriteux, tout à fait analogue à celle qui se présente souvent dans les filons stannifères et qui, quelquefois aussi, accompagne l'or (*) ; il y existe également des dykes de roches vertes (6 et 7) (**) et d'importants filons de quartz, de direction grossièrement nord-sud, dont l'un suit longtemps à l'ouest l'ancienne route de Potchefstroom à Pretoria. Ce dernier jalonne une direction de faille ancienne ; car, près d'une ferme, à la limite nord de notre carte, un lambeau de schistes anciens reparaît à son contact.

Après avoir traversé du Nord au Sud le granite, qui occupe un grand plateau légèrement ondulé, allant en s'abaissant dans la direction du Nord, c'est-à-dire vers Pretoria, on se trouve en présence d'une longue crête très caractéristique, s'élevant brusquement d'une centaine de mètres, crête formée de quartzites à grain fin qui ont, vers le Sud, c'est-à-dire à partir du granite, un plongement d'environ 50° sur l'horizontale.

Ces *quartzites*, qui sont des roches dures, ayant résisté à l'érosion, tandis que le granite sous-jacent s'effritait, présentent parfois des formes découpées et des saillies

(*) Échantillon 1450, 3 de la collection des gîtes métallifères à l'École des Mines ; cf., par exemple, la bérézite de Bérézowsk dans l'Oural, 1675, 3. C'est aux échantillons de la même collection que se rapporteront tous les renvois notés ainsi (Éch. 1450,3), que nous aurons l'occasion de faire dans la suite.

(**) Ces chiffres reproduits sur la carte (Pl. I, *fig.* 2) correspondent à des échantillons de la collection 1450.

assez pittoresques, qui contrastent avec la monotonie des mamelons granitiques. En même temps, le régime des eaux change sensiblement : tandis que, dans les dépressions du granite, sortent de divers côtés, même à la fin de la saison sèche d'hiver, de petits ruisseaux donnant quelques prés marécageux et arrosant des dépôts d'humus qui pourront, un jour ou l'autre, être cultivés fructueusement, dès qu'on entre sur les quartzites, on trouve la sécheresse et l'aridité absolues : la pente des bancs étant, maintenant, jusqu'au fond du synclinal de Springs et Potchefstroom (Pl. II, *fig.* 1 et 2), dirigée vers le Sud, les bancs de grès, toujours plus ou moins fissurés et, par suite, perméables aux eaux, opèrent sur ce qui peut tomber de pluie un drainage ayant pour effet d'entraîner ces eaux souterrainement au loin vers le Vaal, en sorte qu'il n'existe plus aucune source (*). Au point de vue de l'exploitation des mines en profondeur, ce fait présente un certain intérêt.

La zone des quartzites en question peut avoir, normalement aux bancs, environ 500 mètres d'épaisseur (Pl. I, *fig.* 1 et 3) ; puis vient, sur les deux flancs d'une petite vallée, dominée au Sud par la colline de l'Hôpital (Hospital-Hill, haut de la ville de Johannesburg), une série très caractéristique et très importante de *schistes et grès fins ferrugineux*, tous très fortement chargés de magnétite et déviant l'aiguille aimantée, avec quelques intercalations de quartzites semblables aux précédents.

La coupe complète de ces terrains est la suivante de

(*) Les nombreuses *Fontein*, qui figurent dans tous les noms de fermes du Transvaal et qui, pour la plus grande incommodité du lecteur de cartes, sont généralement associées aux mêmes noms (Elandsf., Doornf., Modderf, Rietf., Randf., etc.), ne correspondent presque jamais à des sources, comme on pourrait le croire, mais à de simples retenues d'eau factices, analogues à celles que construisent aujourd'hui toutes les Sociétés minières.

bas en haut, c'est-à-dire du Nord au Sud :

(7 *bis*) Grès quartzites blancs à grains de quartz fins bien roulés (avec veines prolongées de quartz blanc laiteux) formant une crête escarpée précédemment décrite	350 mètres.
(8) Schiste argileux brun rouge. (9) Schistes gréseux brun rouge ou parfois noirs à délits ferrugineux agissant fortement sur l'aiguille aimantée et contenant quelques veines de quartz blanc laiteux.	70 mètres.
(10) Grès quartzeux grossier à grains bien roulés et ciment siliceux faisant plus ou moins corps avec les éléments englobés	60 mètres.
(11 et 12) Schistes ferrugineux rouge brique ou violacés en masses peu feuilletées. (13 et 14) Schistes gréseux, ferrugineux.	5 mètres.
(15) Grès argileux légèrement schisteux, brun violacé, très chargé de fer et très dense à cassures conchoïdales. (16) Grès schisteux brun violacé. (17 et 18) Grès très fin métamorphique brun rosé. (19) Grès criblé de petits octaèdres de magnétite gros comme une tête d'épingle. (20) Grès avec couches minces de magnétite et de quartz alternant. (22) Grès brun saupoudré de magnétite. (23 et 24) Grès fin et schisteux chargé de magnétite peu visible. (25) Grès à lits alternants blancs, rouges et noirs, de quartz et de magnétite, chacun de 4 à 5^{mm} d'épaisseur, semblables à une roche brûlée.	Grès magnétiques d'Hospital. Hill 110 mètres.
(27 et 28) Ocre rouge ferrugineuse et passant au schiste. (29 et 30) Grès argileux rouge et brun rouge, à grain fin et schisteux.	200 mètres.
(32) Grès quartzites blancs identiques aux n^{os} 7 *bis* et 10 formant une bande épaisse qui se prolonge sur environ 2 kilomètres à travers toute la ville de Johannesburg jusqu'à la série du Main Reef.	

(*) Les chiffres placés entre parenthèses en tête des deux coupes suivantes correspondent, comme ceux des figures ci-jointes de la Pl. I, aux échantillons de la collection 1450 à l'École des Mines.

Nous donnons ci-joint, comme terme de comparaison, une autre coupe UV (*fig.* 2, Pl. I), prise plus à l'Est par la ferme de Doornfontein, à travers la vallée de Geldenhuis ; sur cette coupe, que nous avons pu prolonger plus loin que la première vers le Sud, on retrouve les mêmes éléments caractéristiques : d'abord, au Nord des quartzites blancs en contact avec le granite, puis une série schisteuse et ferrugineuse et, de nouveau, des quartzites, les épaisseurs ayant seulement assez fortement varié d'une coupe à l'autre par un phénomène que nous constaterons plus loin sur toute la longueur du Rand en étudiant spécialement la série du Main-Reef ; mais, sur cette coupe UV, on rencontre, en outre, au milieu des derniers quartzites et avant d'arriver au Main-Reef, une première zone de conglomérats légèrement aurifères (44 à 50), suivie par d'autres schistes ferrugineux qui, sur la première coupe, sont peut-être masqués par la ville actuelle de Johannesburg.

Cette coupe UV est la suivante du Nord au Sud, c'est-à-dire de bas en haut :

Quartzites blancs formant une crête accentuée au-dessus du plateau granitique et contenant de grosses veines de quartz blanc laiteux... environ	350	mètres.
Schistes rouges peu ferrugineux	90	»
(33 à 35) Grès magnétiques rubanés rouges, bruns, violacés et noirs d'Hospital-Hill plongeant à 50° vers le Sud	100	»
Grès quartzites non ferrugineux plongeant à 60°..	220	»
Schistes plongeant à 70°	60	»
Quartzites disparaissant bientôt sous les limons qui occupent le fond de la vallée de Geldenhuis et recoupés par un massif de diabase amygdaloïde (36 à 42) ..... environ	1.200	»
Schistes ..... vus sur	15	»
(44) Quartzites micacés avec cordons de galets de quartz	80	»
(45) Schistes et grès schisteux maclifères à délits micacés	10	»

(46 à 50) Quartzites, avec plusieurs bancs de poudingue à galets anguleux entourés de pyrites et contenant à la base des cordons de gros galets (traces d'or)	50	mètres.
Quartzites avec plusieurs cordons de galets quartzeux et un banc de 3 mètres où ces galets sont très rapprochés les uns des autres	80	»
Quartzites ou grès quartzeux avec quelques galets irrégulièrement disséminés	230	»
Grès magnétiques formant une zone très continue sur la crête de l'abattoir entre la vallée de Geldenhuis et le Main-Reef, depuis la batterie de Geldenhuis-Estate jusqu'à Commissioner-Street (Johannesburg)	60	»
Quartzites ..... 30 à	80	»
Schistes	15	»
Quartzites	55	»
Schistes ..... 10 à	40	»
Quartzites avec quelques galets épars de la grosseur d'un œuf d'oiseau et des veines transversales de quartz blanc laiteux	100	»
Quartzites formant le mur de la série du Main-Reef ..... 700 à	800	»
Série des conglomérats aurifères du Main-Reef (couche principale) exploitée pour or dans le Witwatersrand.		

Revenons maintenant sur quelques points de ces deux coupes pour montrer le rôle joué dans l'ensemble de la constitution du pays par les divers éléments géologiques que nous venons de rencontrer en recoupant cette première série de terrains inférieurs aux conglomérats aurifères du Main-Reef.

Le *granite* et le *gneiss*, d'abord, s'étendent très loin à l'Est et à l'Ouest à partir du point où nous venons de les trouver au nord de Johannesburg ; M. Draper les a signalés également à Vredefort et à Halfway-House ; vers l'Ouest, la carte géologique ci-jointe (Pl. II, *fig.* 2) représente, d'après l'ouvrage de M. Goldmann, un grand dyke de granite nord-sud qui, là, aurait rejeté la série des conglo-

mérats et lui serait donc probablement postérieur (à moins qu'on n'y voie un massif surélevé et encadré de failles). Enfin, au Sud, de l'autre côté d'un grand synclinal de terrains anciens sur lequel sont concentrées jusqu'ici toutes les exploitations aurifères, on retrouve les mêmes roches cristallines à 20 kilomètres est de Heidelberg et, plus à l'Ouest, du côté du Vaal, au sud de Venteskrom.

Au-dessus de ce granite, nous retrouvons partout, comme dans les coupes précédentes, une série de *schistes argileux et grès à magnétite* (avec quartzites alternants), qui ne constitue peut-être pas un terrain géologiquement distinct des couches à conglomérats superposées en concordance, mais qu'il est important de mettre en lumière, non seulement pour son intérêt théorique, mais aussi pour sa valeur pratique éventuelle.

Cette série, nous venons d'en donner la coupe dans la colline d'Hospital-Hill, et nous avons insisté sur des lits rubanés à quartz rouge et fer magnétique (accompagnés, d'après M. Goldmann, de fer titané) que nous avons décrits plus haut sous le numéro 25 de la coupe de Johannesburg (Pl. I, *fig.* 3).

Ce lit, assez caractéristique pour avoir servi souvent, dans les premiers temps des exploitations aurifères, de jalon aux prospecteurs recherchant le Main-Reef toujours situé à son toit, a été suivi par M. Sawyer vers l'Ouest jusqu'à Krugersdorp, au-delà de Hartebeestefontein et jusqu'à Blanwbank, où il disparaît sous les couches du Black-Reef.

L'ensemble de la série schisteuse à laquelle il appartient et qui avait déjà été signalée par MM. Draper et Sawyer sous le nom de série des ardoises schisteuses (Clay slate series) (*) a été retrouvé par eux à Suikerbosch-River, où la vallée le coupe à angle droit, et au sud de Ousthorn,

(*) Voir *Société de géologie de l'Afrique du Sud*, 1er juin 1895.

où le terrain consiste, d'après eux, en ardoises noires et quartzites.

Enfin, à 20 kilomètres est d'Heidelberg, M. Draper a observé également, sous les conglomérats aurifères reconnus de ce côté, des bancs alternés de quartzites et d'ardoises parfois très ferrugineuses; il signale particulièrement la présence, en ce point, d'une couche formée de bandes minces de magnétite et de quartz saccharoïde identique à celle indiquée plus haut.

En résumé, nous voyons qu'il existe, dans toute la région du Witwatersrand, à la base de la série ancienne, entre le granite et les conglomérats aurifères, une série de schistes ferrugineux alternant avec des quartzites identiques à ceux qui accompagnent les conglomérats.

On a voulu suivre ces schistes et grès magnétiques beaucoup plus loin; M. Sawyer les a signalés au Mashonaland et M. Draper au Cap de Bonne-Espérance, où des lits de schistes argileux sont intercalés, comme dans le Witwatersrand, entre le granite et les quartzites et conglomérats anciens de Table-Mountain (*) analogues à ceux de Johannesburg; dans ce dernier cas, il peut y avoir quelques raisons stratigraphiques d'admettre la comparaison; mais, en général, il est prudent de se méfier de ces comparaisons à grande distance; car nous pourrions aussi bien signaler au Brésil, ou même en France, des roches identiques également surmontées de conglomérats.

Si l'on admettait l'identité entre les schistes ferrugineux d'Hospital-Hill avec conglomérats superposés et les terrains analogues de Table-Mountain au Cap, la conclusion serait intéressante; car, au-dessus de ceux-ci, repose immédiatement en concordance un des seuls niveaux fossilifères connus dans les couches anciennes de l'Afrique du Sud, le niveau des schistes micacés de Bokkeveld, avec fossiles

(*) Montagne de la Table.

du dévonien supérieur, *Homalonotus Herschelli*, *Spirifer antarcticus*, etc.: ce qui confirmerait l'âge dévonien, généralement attribué sans preuves aux conglomérats aurifères du Witwatersrand.

Peut-être, un jour, cette série à fer oxydé et magnétite aura-t-elle une importance d'un autre genre; car il nous paraît bien vraisemblable que ces oxydes de fer, si abondants aux affleurements, résultent d'une altération de pyrites de fer qui doivent former de grandes masses en profondeur; c'est là, pour nous, un chapeau de fer analogue à celui qui recouvre tous les grands gîtes de pyrite, par exemple ceux de la province d'Huelva en Espagne que nous avons décrits autrefois. Or, comme l'or est, dans le Witwatersrand, constamment associé à la pyrite de fer, il n'y aurait rien d'impossible à ce qu'en quelques points de ces couches on rencontrât de l'or exploitable : on aurait alors un gisement d'or analogue à ceux qui existent si fréquemment sous forme d'hématites aurifères au Brésil (*). Nous devons ajouter cependant, que deux essais faits par nous sur des échantillons de ces grès à magnétite ont donné seulement des traces d'or : ce qui, en un pays où il reste encore tant de gites reconnus à mettre en valeur, était peu encourageant.

Au-dessus de cette première série de terrains, nous rencontrons, en continuant la coupe des terrains vers le Sud, une importante masse de *grès et conglomérats aurifères*, qui peut avoir environ 7.500 mètres d'épaisseur, série qui, ainsi que tous les terrains primaires du Witwatersrand, n'a encore fourni aucune trace de fossile, en sorte que son âge reste indéterminé et n'est qu'hypothétiquement rattaché au dévonien supérieur (old red sandstone). Ce sont ces couches sur lesquelles portent toutes les exploitations. Comme nous nous réservons de les décrire ultérieurement en détail, nous n'en donnerons ici qu'une idée succincte.

(*) On peut remarquer notamment la ressemblance de ces grès à magnétite avec les grès contenant des veines de pyrite aurifère interstratifiées dont l'Ecole des Mines possède quelques échantillons (1762, Mine de Rapazos au Brésil).

D'une façon générale, les terrains qui constituent cet étage sont presque exclusivement formés d'éléments quartzeux (quartz ou quartzites antérieurs) en fragments plus ou moins fins et plus ou moins arrondis, soudés par un ciment siliceux et parfois pyriteux et constituant, suivant la grosseur de ces éléments roulés, des quartzites fins ou grossiers et des conglomérats.

Dans ces conglomérats et ces quartzites, mais particulièrement dans les conglomérats, on trouve, à un grand nombre de niveaux, sur une épaisseur totale de plusieurs milliers de mètres, des traces d'or plus ou moins fortes, et quelques-uns des conglomérats donnent lieu aux mines importantes que nous voulons étudier plus tard.

La série des conglomérats comprend, du Nord au Sud, c'est-à-dire stratigraphiquement de bas en haut : le Rietfontein reef, ou du Preez's reef ; puis, la série du Main-Reef, formée du North reef rarement exploité, du Main-Reef, du Main-Reef leader (*) et du South reef; plus au Sud, l'Elsburg reef ou de Paaz reef, le Bird reef ou Monarch reef, inexploités, le Kimberley ou Battery reef donnant lieu à quelques travaux ; enfin, le Blackreef, dont les conditions de dépôt et le mode de formation sont tout différents (**).

(*) Un leader (littéralement conducteur, chef) est, dans une série de couches, ici dans le Main-Reef, une veine mince de minerai.

(**) On a donné à tous les tronçons de reefs, surtout dans les extrémités Est et Ouest du champ aurifère, où les assimilations sont plus difficiles, une série de noms distincts qu'il nous paraît sans intérêt de reproduire ici. Notons seulement que le Bothas reef de l'ouest paraît correspondre à la série du Main-Reef.

Les calcaires n'apparaissent pas dans cet étage et les schistes n'y jouent qu'un rôle tout à fait subordonné, presque insignifiant, bien qu'ils paraissent avoir parfois une certaine relation avec les gisements aurifères.

Le fait que le quartz se présente seul dans les galets et graviers de ces conglomérats et quarzites, soit sous forme de quartz proprement dit, soit à l'état de quartzite ayant déjà subi un premier dépôt sédimentaire suivi d'une destruction par érosion, prouve simplement que tous ces éléments roulés, résultat manifeste du remaniement de terrains préexistants, ont subi une action mécanique de trituration assez prolongée pour avoir détruit toutes les roches et tous les minéraux moins résistants que la silice ; car il est infiniment probable que, lorsque ces couches se sont déposées, les eaux (torrents ou courants marins), qui en ont charrié la substance, s'étaient trouvées en contact, non seulement avec des quartz, mais aussi avec des roches de toutes espèces, telles que granites, gneiss, schistes anciens, calcaires, etc. ; mais on sait que, si l'on soumet à l'action des vagues ou d'une eau courante un mélange de roches diverses, si l'on observe, par exemple, une rivière sortant d'un massif montagneux et cristallin pour s'écouler en plaine, on voit, à mesure que l'on s'éloigne de ce massif, les galets des roches friables s'émietter et disparaître peu à peu, d'abord les schistes, puis les granites et granulites, ensuite certains porphyres ou basaltes plus durs, pour ne laisser en dernier lieu que du quartz. Nous connaissons, particulièrement dans les terrains primaires de France, nombre d'exemples de poudingues ainsi exclusivement quartzeux et, pour ne citer qu'un fait, choisi, au contraire, dans les terrains récents, il existe dans tout le Bourbonnais et la Nièvre, entre l'Allier et la Loire, une importante formation fluviatile d'âge pliocène occupant 25 à 30 kilomètres d'étendue, formation décrite par nous sous le nom de sables du Bourbonnais et composée exclusivement de galets ou sables quartzeux avec quelques lits d'argile, qui résulte certainement du transport de matériaux empruntés aux roches très diverses du Plateau Central, parmi lesquels le quartz seul a subsisté.

Les galets des conglomérats aurifères du Witwatersrand présentent les dimensions les plus diverses depuis la grosseur d'un pois jusqu'à 10 centimètres et plus de diamètre. Ils sont formés de diverses espèces de quartz et de quartzite, parmi lesquelles on remarque spécialement des quartz blancs bleutés, vitreux ou hyalins, connus dans tous les pays pour être caractéristiques des terrains anciens où ils accompagnent fréquemment l'or et l'étain, puis des quartz noirs enfumés, parfois des grains de quartz bleu analogues à ceux que l'on observe dans les porphyroïdes des Ardennes, et des galets de quartzite noir mat, à grain très fin ; à cela se borne généralement la série aurifère du Main-Reef ; dans certains conglomérats très épais et à galets très volumineux, qu'on trouve, soit au toit (reefs de la vallée de Geldenhuis mentionnés dans la précédente coupe, Elsburg reef, de Paaz reef, Kimberley et Battery reef au Sud), on trouve, en outre, des galets de quartzite blanc analogue à celui qui encaisse les conglomérats au toit et au mur, parfois aussi des galets de quartz rubané à raies noires ou bleu sombre souvent chargés de pyrite, qu'on observe particulièrement dans le reef de la vallée de Geldenhuis ou dans un reef des environs de Heidelberg nommé, à cause de cela, le reef aux galets rayés, Stripe pebbles reef.

Une particularité curieuse de ces galets est qu'ils présentent souvent — et cela à toutes les profondeurs dans les mines — des angles vifs ou à peine émoussés : ce qui paraît, tout d'abord, peu compatible avec l'idée d'une trituration prolongée, supposée par nous en raison de leur

nature exclusivement quartzeuse (*); mais ce fait, qui est loin d'être exceptionnel dans les poudingues anciens connus en d'autres pays, peut, sans doute, s'expliquer en supposant que certains gros galets se seront brisés à la place où l'on retrouve aujourd'hui leurs fragments anguleux, qui se seront aussitôt déposés après avoir été à peine roulés; il est à noter que certains de ces galets polyédriques semblent parfois s'enchâsser les uns dans les autres, comme s'ils avaient été seulement éclatés, peut-être après le dépôt, et presque aussitôt recimentés par de la silice pénétrant dans ces fissures (voir notamment figure 1 et Pl. II, *fig.* 4).

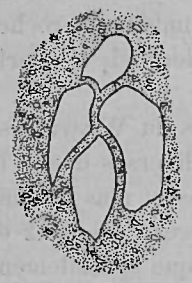


Fig. 1.
Exemple de galets semblant s'enchâsser les uns dans les autres à la Robinson (demi-grandeur naturelle).

Nous signalerons également la présence fréquente de galets aplatis présentant alors, non plus une forme grossièrement sphérique, mais une disposition nettement ellipsoïdale, galets qu'on trouve parfois entassés dans certaines couches, en particulier dans le South-Reef, parallèlement à la stratification générale. Cet aplatissement semble, il est vrai, avoir été quelquefois accentué par une sorte de laminage des couches en relation avec des accidents mécaniques postérieurs au dépôt, dont nous retrouverons ailleurs bien d'autres traces; les quartz sont alors intérieurement craquelés et brisés; mais, le plus souvent, il s'agit bien de galets plats comme on n'en trouve guère que dans les formations marines, où cet aplatissement résulte,

(*) Des expériences de M. Daubrée (*Comptes Rendus*, XLIV, p. 997) montrent qu'après un parcours total de 25 kilomètres accompli dans un cylindre tournant au milieu de l'eau, des matériaux anguleux sont transformés en galets pareils à ceux de nos côtes.

on le sait, de ce que le mouvement imprimé par la lame est plutôt oscillatoire que rotatoire (*).

Si nous ajoutons à ces remarques diverses ce fait très curieux que la série des couches de conglomérats se poursuit sur de grandes étendues (malgré des modifications de détail sur lesquelles nous reviendrons et qui sont continuelles) avec une constance générale bien extraordinaire, et, de plus, que certaines couches particulièrement caractéristiques (comme le Kimberley-Reef, le Bird Reef ou même le South Reef) peuvent même être suivies, sans faire une part trop large à l'hypothèse dans les assimilations, d'un bout à l'autre du Rand, nous arrivons à cette idée, qui résulte pour nous de tous les faits observés, et que nous avons été heureux de voir partagée par MM. Draper, Goldmann, etc., que ces quartzites et conglomérats constituent — ceci tout à fait indépendamment de leur ciment aurifère qui peut être local — une formation de grande extension et probablement marine, ayant dû se déposer d'abord à peu près horizontalement et subir un plissement postérieur, formation dont les couches aurifères du Witwatersrand, avec leurs plongements bien connus, représentent simplement un synclinal. C'est là un point sur lequel nous allons revenir bientôt.

Nous ajouterons seulement un mot sur l'allure d'ensemble des conglomérats dans le Witwatersrand.

On a fait à ces conglomérats une réputation de régularité qui peut, sauf des restrictions que nous développerons ultérieurement, être justifiée dans une certaine mesure par le rendement industriel, mais qui, envisagée à la lettre, est de nature à donner les idées les plus inexactes sur la disposition géologique des dépôts.

Si l'on examine, en effet, soit une galerie de mine quelconque dans le Rand, soit un de ces plans d'essais où

(*) De Lapparent, *Géologie*, 3e édit., p. 237.

l'on reporte de 10 mètres en 10 mètres, sur le tracé des galeries, l'épaisseur et la teneur des minerais, surtout si l'on transforme les chiffres du plan d'essai (comme nous l'avons fait, Pl. VI, *fig.* 1 et 2) en un tracé graphique, on constate immédiatement que ces reefs, réputés réguliers, changent incessamment de dimensions comme de teneur, et cela dans les proportions les plus fortes, passant, sur une longueur de 20 mètres, de quelques centimètres de large à plusieurs mètres. Cette irrégularité, dont nous donnons ici un exemple pris tout à fait au hasard dans une des mines les plus justement réputées du Rand, n'est pas une exception, mais, au contraire, la règle absolument générale (*). Le contraire serait, d'ailleurs, fort étonnant et presque sans exemple dans une formation géologique, probablement littorale (**) comme celle de nos quartzites et conglomérats.

En dehors de ces variations d'épaisseur d'un banc, de ces rétrécissements et élargissements, on constate également, toutes les fois qu'on se donne la peine de faire des observations un peu soignées, des bifurcations, des dédoublements locaux de reefs en deux veines qui vont se réunir un peu plus loin, des apparitions de bancs gréseux

(*) Les figures 1 et 2, Pl. VI, représentent des portions correspondantes du Main Reef Leader et du South Reef dans la même partie de la mine. Trois courbes figurent : l'une, les variations de l'épaisseur en chaque point ; l'autre, celles de la teneur en or, d'après les essais du laboratoire ; la troisième, les variations de la richesse, c'est-à-dire du produit de l'épaisseur par la teneur, les variations de ces deux éléments ne se compensant nullement, comme on l'a parfois affirmé d'après quelques observations trop sommaires.

La communication des plans d'essai étant toujours d'une nature un peu confidentielle, nous ne nous croyons pas autorisé à donner ici le nom de cette mine ; mais nous ne pensons pas que la valeur de cette observation géologique en puisse être diminuée.

(**) Il y a, dans l'existence de couches de conglomérats s'étendant sur des kilomètres de large, un fait qui est loin d'être spécial au Transvaal, mais qui partout est fort difficile à concilier avec le peu de largeur des formations actuelles de galets sur nos plages.

au milieu de conglomérats, ou, réciproquement, des transformations progressives d'un grès en un conglomérat, etc. Généralement ces particularités passent inaperçues, les ingénieurs anglais, peu soucieux de tout ce qui n'est pas le côté commercial de leur entreprise, ayant l'habitude de confondre sous le nom de reef toute l'épaisseur des conglomérats prise dans les travaux, qu'il y ait ou non des bancs de grès dans l'intervalle ; mais, dans une mine où le directeur est un Français passé par l'Amérique, à la Simmer and Jack, on s'est donné la peine de relever ces détails, et il en est résulté les coupes très intéressantes que nous reproduisons (Pl. V, *fig.* 1 à 5).

Étant donné ces variations sur lesquelles nous venons d'insister, on peut se demander s'il n'y a pas quelque excès d'imagination à prétendre suivre, comme nous essayerons de le faire bientôt, la série du Main-Reef ou tel autre banc de conglomérat sur plus de 35 kilomètres de long d'un bout à l'autre du Rand. La première impression, en effet, en visitant les mines de la région, est qu'il est bien difficile, sinon impossible, de distinguer un reef de l'autre et, par suite, que l'assimilation de deux tronçons de reefs distincts, surtout lorsqu'ils sont séparés par une faille (qui met parfois dans le prolongement l'un de l'autre deux reefs différents), est bien hypothétique, peut-être même fondée uniquement sur le désir de donner au reef qu'on exploite un nom bien sonnant et favorablement connu ailleurs.

Un reef, ou banc de conglomérat aurifère du Witwatersrand ne constitue pas, en effet, comme on a trop de tendance à le croire en Europe, un individu absolument déterminé, constant dans son allure et immédiatement caractérisé, partout où on le rencontre, par un signe distinctif. Il est même bien souvent très délicat de distinguer ce qui est minerai du stérile, à plus forte raison un minerai d'un autre. La similitude absolue des bancs de quartzites qui forment

les épontes des divers conglomérats au toit, comme au mur, est une raison de plus d'hésiter dans ces rapprochements. Pourtant, à la longue, cette impression disparaît plutôt qu'elle ne s'accentue et l'on finit par concevoir de chaque reef une certaine idée générale assez bien définie pour pouvoir les distinguer, sans trop d'erreur, l'un de l'autre, non pas sur un échantillon isolé, ni parfois sur un front de taille unique, mais au moins sur une certaine longueur de galeries. Nous avons été frappé à diverses reprises de constater par nous-même qu'en des mines très éloignées les unes des autres on retrouvait certains caractères constants dans quelques reefs comme le South-Reef (formé de veines minces à galets aplatis), le Main-Reef Leader (généralement superposé à un lit argileux avec veine de quartz), le Main-Reef (composé, en moyenne, de 1 ou 2 mètres de conglomérat à galets arrondis, gros comme des noix), surtout le Bird-Reef (avec ses petits galets comme des œufs d'oiseau), le Kimberley-Reef (avec ses galets énormes dont beaucoup de quartzites), et, enfin, le Black-Reef (avec ses masses de pyrite, ses très fortes teneurs très irrégulières), etc., et que les reefs, ainsi dénommés *a priori* d'après leur aspect, se retrouvaient toujours dans la même position stratigraphique relative, parfois même se raccordaient directement d'un point à l'autre. Nous sommes dès lors disposé à croire que, s'il y a discontinuité, disposition lenticulaire dans telle ou telle veine prise isolément, le faisceau de ces veines n'en présente pas moins une certaine continuité d'un bout à l'autre des exploitations aurifères (*), et c'est dans cet ordre

(*) Nous aurons l'occasion de redire que, de cette opinion purement géologique, nous ne tirons aucune conséquence industrielle ; car il nous semble qu'on a singulièrement exagéré l'importance que peut avoir pour une mine tel ou tel nom donné au reef qu'elle exploite. En pareille matière, il n'y a qu'une chose qui compte, c'est l'essai de ce reef, essai pratique et suffisamment prolongé.

d'idées que nous aborderons bientôt notre description, sans dissimuler, comme de juste, les difficultés d'assimilations auxquelles nous nous heurterons fréquemment, et qui se présentent notamment, comme l'a fait remarquer M. Goldmann (*), dans le raccordement des reefs du Champ d'or (Botha's Reef) à l'Ouest, ou de ceux de Modderfontein et Van Ryn à l'Est avec ceux de la partie centrale (**).

Ce faisceau de veines de conglomérats aurifères, auquel nous attribuons ainsi une assez longue persistance, est dirigé, dans l'ensemble, Est-Ouest avec plongement Sud ; nous remarquerons de suite qu'il paraît présenter dans l'Ouest un resserrement prononcé correspondant peut-être à une partie du bassin marin où les mouvements du sol ont été moins accentués et la sédimentation moins active : de ce côté (vers le Champ d'Or, etc.), les bancs se rapprochent les uns des autres et se réduisent en nombre, sans que ce phénomène paraisse résulter d'une action mécanique postérieure (les couches présentent notamment des plateurs qui prouvent un déplacement peu considérable depuis leur dépôt) ; à partir de là, vers l'Est, ils vont, au contraire, dans leur ensemble, en s'écartant progressivement les uns des autres et, en même temps, se ramifient, se divisent, se multiplient par l'apparition de bancs nouveaux intermédiaires, qui prennent peu à peu de l'importance : il en résulte une sorte d'étalement en plan horizontal jusqu'à la mine de Modderfontein, qui représente actuellement l'extrémité est de la zone exploitée.

(*) *Loc. cit.*, I, xxv.

(**) Dans ces essais d'assimilation, il est un point qui complique le travail pour quiconque n'a pas pris la peine d'observer ces faits par lui-même dans chaque mine, c'est l'habitude instinctive et très naturelle qu'ont tous les directeurs de grossir leur filon et de simplifier leur coupe en englobant dans un banc de conglomérat, sans les mentionner, toutes les veines de grès intermédiaires, en sorte que, pour une étude géologique, il est impossible de se fier complètement à des affirmations de ce genre.

En outre, on voit apparaître, dans tout l'Est, à partir de la Witwatersrand gold mine, sur l'East Rand, à Van Ryn, Modderfontein, etc., un banc de schistes de plus en plus épais, qui s'intercale dans la série des reefs au mur d'un des principaux, comme on le constate également au Sud du côté du Nigel, tandis que, dans l'Ouest, ce banc de schistes était tout au plus annoncé (et encore cette idée nous paraît-elle fort problématique) par un simple délit argiloschisteux, qui ressemble plutôt à une salbande due à quelque phénomène de glissement des bancs les uns sur les autres (*).

Si nous retournons maintenant vers l'Ouest, nous y voyons quelques-uns des reefs, comme le Bird-Reef, prendre, par une inflexion brusque, une direction N.-S. que l'on retrouve également dans le reef de Randfontein, et que l'on a supposée, par une hypothèse assez vraisemblable, exister pour toute la série (Pl. II, *fig.* 2). De ce côté, d'ailleurs, la pente des couches étant généralement très faible, très rapprochée de l'horizontale, il en résulte dans les affleurements une complication qui, jusqu'ici, n'a pas été démêlée.

Mais cette direction Nord-Sud ne constitue là qu'un accident local d'environ 7 kilomètres de long, au Sud duquel les bancs doivent, d'après quelques indices, repartir avec une direction Est-Ouest, jusqu'à un dyke de granite, le long duquel s'est produit un accident qui les rejette vers le Nord. Il y a là toute une grande région encore mal explorée, où la présence des reefs, en un point ou en l'autre (visibles ou masqués par des couches postérieures), peut être considérée comme probable, et l'on arrive, après avoir franchi une lacune de 50 à 60 kilomètres, au district de Buffelsdoorn et Klerksdorp, où l'on retrouve

(*) A moins qu'il ne faille le raccorder avec la série schisteuse située assez loin au mur du Main-Reef à Hospital-Hill ; il y a là des questions stratigraphiques qui ne sont pas encore élucidées.

des exploitations sur une série de quartzites et conglomérats dirigés Nord-Est — Sud-Ouest avec plongement vers l'Est.

Dans toute cette région de Modderfontein à Buffelsdoorn, que nous venons de parcourir rapidement, les conglomérats plongent vers le Sud ou le Sud-Est, avec des pentes extrêmement variables, qui, on peut le dire sans exagération, vont de l'horizontale à la verticale, et cela à diverses reprises, ainsi que le montre un schéma ci-joint (Pl. III, *fig.* 1). Cette carte, qui représente le South-Reef, supposé mis à découvert, par courbes de niveau distantes de 50 en 50 mètres et hachures d'autant plus serrées que la pente est plus forte suivant le principe des cartes géographiques, met en évidence, à l'affleurement, quelques zones tout particulièrement redressées comme à Robinson, à Henry Nourse, à New Chimes et Van Ryn, d'autres où l'on a de véritables plateurs (difficiles à figurer à cette échelle réduite) avec faibles ondulations en forme de vagues, comme à Durban Roodeport, à Simmer and Jack et à Modderfontein ; on y voit également ressortir ce fait, général dans le Rand, que la pente se rapproche de l'horizontale dans chaque section tranversale à mesure qu'on s'enfonce (*) ; enfin une courbe, qui représente, sous une forme graphique, les teneurs moyennes obtenues à la fin de 1895 dans le rendement industriel de chaque mine, dessine un certain nombre de zones riches avec appauvrissement progressif sur les bords, et des zones pauvres intermédiaires (*fig.* 2). Il semblerait parfois exister, comme le montre la superposition de ces deux figures, une certaine relation entre la richesse des bancs et leur inclinaison, sans que le fait soit pourtant assez net pour en tirer des conclusions géologiques. Nous croyons, malgré tout, comme nous le dirons, que la pente actuelle est posté-

(*) Comparer la série des coupes des Pl. III et IV.

rieure au dépôt de l'or ; mais il peut se faire que ses variations correspondent à quelque phénomène déjà esquissé précédemment.

Au Sud-Est, d'autres exploitations, vers Nigel et Heidelberg, portent sur d'autres couches de quartzite et de conglomérat formant — sans qu'il soit possible encore d'établir une assimilation précise de banc à banc — la réapparition probable des mêmes couches sur l'autre flanc d'une dépression synclinale. C'est cette disposition d'ensemble, dont nous n'avons pas besoin de faire ressortir l'importance pour l'avenir industriel du district, qu'il nous reste à examiner.

On a souvent décrit les formations aurifères du Witwatersrand, comme remplissant un lac ancien de dimensions restreintes, dont on a même été jusqu'à dessiner les bords, à peu près suivant les affleurements actuels, de Klerksdorp à Johannesburg et Heidelberg ; on a parlé, à cette occasion, de phénomènes de deltas torrentiels ; notre opinion, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, est toute différente et, pour nous, il n'y a là aucun des caractères de dépôts lacustres, que nous avons eu l'occasion d'étudier longuement sur les lacs houillers ou tertiaires du Plateau Central français, mais, au contraire, un tronçon d'une grande formation marine, dont les conglomérats et sables grossiers représentent un facies probablement littoral, d'une extension ici très considérable.

En laissant de côté l'imprégnation aurifère, qui n'est pas nécessairement liée à toute la formation géologique de conglomérats dans laquelle on la rencontre, et qui doit même être certainement beaucoup plus restreinte qu'elle, nous considérons la série des quartzites et conglomérats du Witwatersrand, que nous sommes en train d'étudier, comme formant un grand pli synclinal, de direction Nord-Est — Sud-Ouest, entre les deux lignes d'affleurement mentionnées plus haut, l'une de Modderfontein à Buffelsdoorn, l'autre de Nigel à Heidelberg, synclinal qui présente, comme tous les plis du même genre, des inflexions, élargissements ou étirements plus ou moins complexes, mais a bien des chances pour se prolonger, soit à l'Est, soit à l'Ouest, bien au delà de la zone sur laquelle l'attention a été attirée jusqu'ici (*). Nous ajouterons, d'ailleurs, aussitôt, que de semblables dépressions synclinales offrent souvent, par un phénomène bien connu et récemment mis en lumière par M. Marcel Bertrand, des plis transverses à peu près orthogonaux, qui peuvent avoir pour effet de ramener au jour, sur quelque crête anticlinale perpendiculaire à l'axe général de la cuvette, telle ou telle couche de la formation. S'il existait réellement, de Modderfontein à Heidelberg par Geduld, un affleurement du reef nord sud, comme celui que la plupart des cartes portent en pointillé d'une façon théorique, ce serait par un accident de ce genre qu'il faudrait l'expliquer, et cela n'empêcherait nullement le synclinal avec ses reefs de pouvoir se prolonger au delà. Mais nous croyons que la ligne de jonction en question, tracée dans un pays très couvert de limon ou de dépôt du Karoo, est jusqu'ici tout à fait hypothétique.

Pour préciser, si nous nous reportons à la petite carte géologique ci-jointe (Pl. II, *fig.* 2), tracée en partie d'après une carte toute récente de MM. Draper et Wilson Moore (**), nous y trouvons, croyons-nous, une confirmation des idées précédentes.

Sur cette carte, on voit d'abord au Nord, le massif de granite et gneiss étudié précédemment au nord de Johannesburg, massif qui paraît tenir la place d'un anti-

(*) La vérification précise de cette hypothèse aurait demandé une exploration longue et minutieuse du terrain que nous n'avions pas le temps de faire ; mais tout ce que nous avons pu voir la rend très vraisemblable.

(**) Nous avons complété cette carte, notamment par le tracé des reefs aurifères qu'on s'étonne de ne pas y voir.

clinal ancien, bien caractérisé dans son prolongement au sud-ouest.

Puis, vient une première longue zone Est-Ouest de la série des conglomérats, zone où les couches aurifères dessinent des sinuosités que nous avons essayé de mettre en évidence et qui, si la carte n'était une simple esquisse encore très imparfaite, se répercuteraient sans doute dans les contours extérieurs de l'étage. Vers l'Ouest, par exemple, l'inflexion brusque des reefs de Luipardsvlei à Randfontein et Middelvlei, à la suite de laquelle ceux-ci paraissent reprendre leur direction primitive, pourrait bien correspondre à quelque accident N.-E — S.-O, marqué un peu plus au nord par le contact anormal du granite avec la dolomie sans intercalation de conglomérats du côté du Limpopo.

Il est difficile d'affirmer si le granite est antérieur ou postérieur à la série des conglomérats; cependant le métamorphisme extrême de tous les terrains du Witwatersrand (schistes, grès, etc.) pourrait tendre à faire supposer le granite postérieur. C'est également ce qui résulterait de la carte de M. Draper, pour le dyke granitique, le long duquel, de l'Est à l'Ouest, il a dessiné un rejet de tous les terrains.

Après ce rejet, la série des conglomérats (que nous envisageons en ce moment dans son ensemble, sans nous préoccuper d'y rechercher les couches aurifères) reprend avec une direction N.-E. — S.O, formant une crête anticlinale bien nette jusqu'à Buffelsdoorn et Klerksdorp et se continue plus loin encore à l'ouest du Vaal dans la direction de Kimberley.

Le pendant géologique de cette zone des conglomérats se retrouve au sud du synclinal, avec une direction également N.-E. — S.-O., mais plus rapprochée de la ligne Nord-Sud de Nigel à Heidelberg, puis vers le confluent de la Klip River avec le Vaal (Vereeniging), sur

la ligne de chemin de fer de Johannesburg à Capetown et, plus loin encore, le long de la vallée du Vaal, au sud de laquelle on retrouve ces quartzites adossés à un granite.

Quand on examine sur la carte la disposition d'ensemble de ce synclinal, on voit que, dans l'Est, les deux branches ont l'air de se rapprocher l'une de l'autre, les dépôts de terrains supérieurs (dolomie et série de Magaliesberg) disparaissant entre elles. Il est possible, comme nous le disions plus haut, qu'il y ait, en effet, de ce côté un surélèvement transversal qui amène la fermeture des courbes de niveau représentées par les affleurements des couches de conglomérats et, par suite, leur interruption momentanée; mais il est fort possible aussi que ce rapprochement ne soit qu'une apparence due à la disparition par érosion des terrains supérieurs; en tout cas, la direction des reefs aux extrémités semble bien prouver que leur raccordement ne peut se faire aussi vite qu'on le suppose généralement, c'est-à-dire directement de Modderfontein au Nigel et, quand même la courbe se fermerait, nous venons de faire remarquer qu'elle aurait des chances pour se rouvrir un peu plus loin sur le prolongement du même synclinal.

A travers cette série de conglomérats [illegible], dont nous venons d'indiquer l'allure générale et que nous étudierons ultérieurement en détail, on peut établir la coupe suivante (de bas en haut), coupe très théorique, puisque, comme nous l'avons déjà dit, il existe des variations constantes d'un point à l'autre dans l'épaisseur, le nombre et les intervalles des bancs, mais qui donnera néanmoins une certaine idée de leur disposition réciproque :

Granite.	
Quartzites blancs	350 mètres.
Grès et schistes ferrugineux (détaillés dans la coupe VU par la ferme de Doornfontein)....	470 »
Quartzites au mur du reef de Rietfontein ou de Geldenhuis valley..... environ	1.200 mètres.

Série des Reefs de Rietfontein	*North reef*, peu exploité	0m,15 à 0m,30
	Quartzites	15 mètres.
	Quartzites contenant deux veines de galets exploitées (*middle reef* et *middle reef leader*)	1m,30
	Quartzite	15 à 20 mètres.
	Stable reef : conglomérat à petits galets	1m,50
Quartzites		250 mètres.
Grès magnétiques, quartzites et schistes de la colline de l'Abattoir		220 »
Quartzites avec bancs minces de conglomérat.		100 »
Quartzites formant le mur de la série du Main-Reef		700 à 800 mètres.
Série du Main-Reef	*North-Reef* presque toujours inexploité	0m,20 à 1 mètre.
	Quartzite stérile	15 à 20 mètres.
	Main-Reef, gros banc de conglomérats (teneur moyenne 10 à 15 grammes d'or	1m,50 à 8 mètres.
	Quartzite stérile, se réduisant parfois à zéro sur la Crown Reef, la Bonanza, la Jubilee, la Village Main-Reef, la City and Suburban, atteignant 2 à 3 mètres à la Robinson, allant à 20 mètres sur la Wemmer, la Salisbury	0 à 20 mètres.
	Au mur du Main-Reef Leader, salbande argileuse fréquente avec veines de quartz	0 à 0m,10
	Main-Reef Leader. — Conglomérat (teneur moyenne 10 à 35 gr.) ; la teneur maxima est souvent au toit de ce Leader.	0m,30 à 1 mètre.
	Quartzite stérile avec un *middle reef* inexploité	30 mètres.
	South-Reef. — Quartzite contenant plusieurs veines de conglomérat, généralement minces (0m,02 à 0m,10) et à galets aplatis, avec des intervalles de grès qui peuvent se réduire à zéro. La partie la plus riche est souvent à la base où l'on constate parfois (Crown Reef, etc.) une veine de quartz blanc de sécrétion. Ce reef est le plus riche de tous dans le centre du Rand (teneur moyenne 15 à 40 gr.)	1m,30
Quartzites		4 à 500 mètres
Bird-Reef		4 à 6 »
Quartzites		4 à 500 »
Kimberley-Reef		10 à 20 »
Quartzites		1.200 »
Elsburg-Reef		20 »
Quartzites		2.500 »
Diabases amygdaloïdes du Klipriversberg		1.200 »
Black-Reef		5 à 6 »
Quartzites		60 »
Calcaires dolomitiques		1.500 »
Série du Gatsrand et de Magaliesberg (quartzites).		

Dans la série du Main-Reef, qui est la principale exploitée, on peut admettre, comme moyenne, que l'épaisseur totale des reefs abattus communément par une mine quelconque, qu'il s'agisse d'un ou de deux reefs, oscille autour de 2 mètres.

Cette série est généralement encastrée entre deux bancs durs, faisant saillie à la surface, où ils ont servi d'indice pour suivre les affleurements et qu'on nomme les red bars.

Nous venons d'insister sur l'étage des conglomérats aurifères ; on trouve immédiatement au-dessus de lui (et, d'après M. Draper, en discordance) des *dolomies*, avec intrusion locale, au sud de Johannesburg, de diabases amygdaloïdes à peu près au contact des quartzites et de ces dolomies ; ces calcaires dolomitiques (*) (ou une formation

(*) MM. Hatch et Chalmers mettent ces calcaires au-dessous des conglomérats, ce qui nous paraît contraire à toutes les observations.

analogue) couvrent, dans l'Afrique australe, de grandes étendues, et l'on a voulu en conclure, d'une façon un peu romanesque, que les conglomérats, avec leur richesse en or, devaient se prolonger partout au dessous. Nous dirons d'abord quelques mots des diabases amygdaloïdes du Klipriversberg, et passerons ensuite aux dolomies qui présentent un grand intérêt géologique.

Entre Johannesburg et les affleurements du Blackreef, il existe, au Klipriversberg (Pl. II, *fig.* 2) un long massif de *diabase amygdaloïde* ayant à peu près 1.200 mètres de large sur 30 kilomètres de long, et situé généralement au toit de la série des quartzites, presqu'à leur contact avec les calcaires dolomitiques.

Cette diabase paraît avoir cristallisé au-dessus des quartzites à l'époque du grand changement de régime qui a été marqué par l'arrêt de la sédimentation quartzeuse, avant le début des formations calcaires. Il est certain que le conglomérat pyriteux du Blackreef et les couches horizontales de quartzite qui le surmontent se sont déposés sur cette diabase postérieurement à son épanchement, et que celle-ci n'a pas, au contraire, fait intrusion après coup entre le Blackreef et les terrains sous-jacents; la meilleure preuve en est que le Blackreef qui, ainsi que nous l'avons déjà dit, constitue un gisement d'une nature toute spéciale et tenant beaucoup plus de la brèche que du conglomérat, renferme fréquemment des fragments de la diabase sous-jacente. Ce Blackreef s'est déposé, par exemple à la mine d'Orion, dans les dépressions, les sillons de la diabase, qui semble avoir subi, dans l'intervalle, des actions mécaniques, et il a été, au contraire, recouvert par des couches très régulières et presque horizontales, qui forment, par suite, un angle accentué avec celles du mur.

Les *dolomies*, généralement noirâtres et souvent pénétrées de veinules siliceuses, peut-être en relation avec

des dykes de diabase ophitique passant à la porphyrite qui les traversent, forment, au centre du synclinal du Witwatersrand, deux longues zones E.-O., dont la plus septentrionale apparaît vers la mine d'Orion, au-dessus du Blackreef exploité en ce point.

A l'Orion, la coupe (sur laquelle nous reviendrons) comprend, du toit au mur : des quartzites; une intrusion de roche éruptive, sur laquelle repose le reef à peu près horizontal; de nouveau, des quartzites et, un peu plus loin, au sud, des dolomies en stratification discordante sur les quartzites, dolomies à travers lesquelles se font actuellement des sondages qui vont rechercher le prolongement du reef.

Des calcaires dolomitiques identiques ont été retrouvés en plusieurs autres points dans la même position, sur le Blackreef, notamment à la mine Eastleigh, au sud-ouest de Buffelsdoorn, qui travaille le Blackreef sous ces calcaires; on en rencontre de semblables aux sources de la rivière Wonderfontein, où ils sont recouverts par des terrains que nous décrirons plus loin sous le nom de couches du Gatsrand; à Vereeniging, sur la ligne de Johannesburg à Capetown, des bancs analogues contenant, d'après M. Draper, des fossiles carbonifères, ont été traversés par un sondage; un sondage analogue tenté à Wettdrift (Vaal-River) a retrouvé le Blackreef à 7 mètres sous les dolomies ; enfin, dans tout l'ouest du Rand, un long anticlinal de quartzites, mentionné plus haut par nous, est recouvert, sur ses deux flancs, par ces dolomies.

M. Draper a attiré l'attention sur les points suivants : à Krondraai, une série de veines de quartzites et d'ardoises aurifères, assimilée par lui au Blackreef (bien qu'ici le conglomérat manque), est recouverte par les dolomies ; de même à Malmani (Kaffirkraal) le calcaire superposé aux quartzites contient de nombreuses veinules de quartz

aurifère bien nettes avec galène, cinabre et blende. Ce calcaire, qui est horizontal, contient, dans sa partie supérieure, de la trémolite.

Ces veines aurifères dans le calcaire sont intéressantes à signaler ; il est possible qu'elles représentent seulement une sécrétion secondaire des minerais sous-jacents, produites par la circulation des eaux superficielles, toujours active dans les fissures du calcaire; cependant il est curieux d'y voir apparaitre le mercure et le zinc, dont on ne constate généralement même pas de traces dans les minerais du Rand, en sorte qu'on pourrait être tenté d'y voir un phénomène filonien indépendant. En tous cas, il paraît y avoir une grande analogie entre ce genre de veinules aurifères restreintes et les nouveaux champs d'or de la région de Kimberley (Herbert Goldfields, etc.), également formés de courtes veines dans le calcaire, sur lesquels on a, cette année même, très vivement appelé l'attention.

Nous citerons encore, d'après M. Draper, une coupe de ces dolomies prise sur le Klipriversberg.

Si l'on fait une coupe du Klipriversberg, en venant du sud, de Eagle Hill, on trouve, d'abord, au Sud, les dolomies accompagnées de leurs lits caractéristiques de silice plongeant sous un angle de 10° environ; au dessous se présente, près de la rivière Klip, la série du Blackreef accompagnée de quartzites (Vesta gold mining) plongeant au Sud sous un angle analogue; après quoi, l'on a la diabase amygdaloïde au Klipriversberg et les conglomérats sans aucun banc nouveau de calcaire jusqu'au granite.

Pour achever de caractériser ces dolomies, nous ajouterons seulement que, comme beaucoup d'autres roches du même genre, elles ont donné lieu, par la circulation des eaux, à un grand nombre de grottes, parfois à des pertes de rivière, visibles notamment sur les bords du Vaal ou dans la vallée de la Mooi, du côté de Potchefstroom.

Au sujet de leur âge absolu, on ne possède que de très faibles indices : les fossiles carbonifères trouvés à Vereeniging, des fossiles du même âge (Brachiopodes et Térébratules) rencontrés par M. Sawyer aux montagnes du Zwartberg avec des veinules de charbon, enfin une assimilation hypothétique avec les terrains de la Table-Mountain, au Cap de Bonne-Espérance.

Les derniers dépôts anciens que présente le synclinal du Witwatersrand sont les *couches du Gatsrand*, formées de lits assez étroits de quartzites, qu'on a parfois confondus avec la grande masse de quartzites accompagnant la série des conglomérats et qui occupent, au contraire, la partie supérieure des couches anciennes, juste au-dessous de la série (absolument discordante) du Karoo.

Ces quartzites du Gatsrand sont semblables à ceux de Zuurberg, Zwarteberg, Witteberg (le Cap), ainsi qu'à ceux de Kowie considérés comme du carbonifère supérieur.

On rattache aussi au même niveau les couches très caractéristiques du Magaliesberg, qui forment un chainon est-ouest, à l'Ouest (et un peu au Nord) de Pretoria.

Avant de passer à la description de la série plus récente du Karoo, nous résumerons la coupe des niveaux géologiques de la série ancienne que nous venons de passer en revue. Elle est la suivante de haut en bas :

Karoo (permien et trias).	
Discordance.	
Quartzites minces du Gatsrand (carbonifère moyen).	
Couches de Magaliesberg et de Pretoria : calcaires dolomitiques (carbonifère inférieur?)	environ 2.000 mètres.
Quartzites formant le toit du Black Reef.	
Discordance.	5 à 10m
Black Reef.	
Diabase amygdaloïde du Klipriversberg.....	2.500m.
Série des quartzites et conglomérats aurifères du Witwatersrand (dévonien inférieur).....	6 à 7.000m.

Schistes argileux, roches ferrugineuses et quartzites de Hospital-Hill..... 1.000 à 2.000.

Discordance.

Granite et gneiss.

Comme notion d'âge sur ces terrains, nous verrons que le Karoo, près de Johannesburg, contient des fossiles permo-triasiques ; d'autre part, certains calcaires dolomitiques à Vereeniging sont du carbonifère inférieur ; pour préciser davantage, on se fonde uniquement sur une assimilation un peu lointaine avec les terrains anciens des environs du Cap qui, d'après les géologues sud-africains, seraient l'équivalent géologique de ceux du Transvaal.

Au Cap, la Montagne de la Table, qui donne au panorama de la ville vue du large une allure si pittoresque, est formée, comme on peut s'en assurer aisément par une courte excursion, d'un soubassement de granite normal, formant de premières pentes arrondies, au-dessus desquelles des strates horizontales de terrains anciens, d'abord un lit peu épais de schistes, puis des grès avec quelques conglomérats constituant le Plateau, la Table, sont coupés latéralement par des falaises abruptes. Ce sont ces grès, eux-mêmes sans fossiles, mais surmontés ailleurs par des schistes de Bokkeweld à fossiles du dévonien supérieur, que l'on assimile aux couches aurifères du Witwatersrand.

La coupe, dans le sud de la colonie du Cap, est la suivante :

Couches de Zwarteberg, assimilées à celles des Gatsrand et du Magaliesberg. — Carbonifère moyen.

Discordance. — Dolomies du Plateau d'Han-ami, du Damaraland, de Kaap Range, de Griqualand West assimilées à celles du Black-Reef et du Zoutpansberg (au nord du Transvaal) — Carbonifère inférieur.

Discordance. — Schistes micacés de Bokkeveld avec fossiles du dévonien supérieur (manquant au Transvaal). ; grès (avec quelques conglomérats) de Table-Mountain, assimilés à ceux du Witwatersrand, du Zoulouland, etc.

Ardoises argileuses, sans fossiles, assimilées aux couches ferrugineuses d'Hospital-Hill.

Discordance. — Occasionnellement : couches de Malmesburg reposant sur les couches du Namaqualand et pouvant représenter le cambrien et l'archéen.

Granite.

Dans l'est de l'Afrique australe, du côté du Swaziland et dans les districts aurifères de de Kaap ou de Lydenburg, il s'intercale, au-dessous des couches d'Hospital-Hill et des grès du Witwatersrand ou de Table-Mountain, une importante formation de schistes argileux, talqueux ou chloriteux, contenant très souvent des veines d'or à peu près interstratifiées, qui a été décrite par Schenck sous le nom de couches de Swasi ou de Lydenburg.

2° Dépôts du Karoo. — Les couches du Karoo présentent, sur toute l'Afrique du Sud, une formation continentale des plus remarquables, dont le dépôt s'est poursuivi à travers de longues périodes géologiques sans qu'aucun mouvement important du sol semble être venu l'interrompre et qui, depuis lors, ne paraît pas non plus avoir été déplacée ni plissée, mais seulement tranchée par des failles le long des grands affaissements d'âge crétacé qui ont amené l'arrivée de l'Océan Indien.

Ces terrains, que M. Suess a assimilés à des dépôts analogues des Indes, en supposant que ces deux pays devaient être alors reliés, à travers Madagascar, par un vaste plateau, la Lemuria, ont certainement recouvert toute la région du Witwatersrand qui nous occupe et n'y ont disparu que par suite des érosions postérieures ; car on en retrouve de nombreux lambeaux épars, laissés là comme témoins, notamment au Sud et à l'Est, où ils couvrent de grandes étendues ; et, sur les parties mêmes où ils ont disparu, il reste souvent de très épaisses couches de limon, résultat de leur destruction, qui masquent les affleurements des conglomérats aurifères. L'érosion consi-

dérable, dont nous avons là une preuve indirecte, a même dû, pour le dire en passant, enlever à la partie supérieure des couches d'or, un volume considérable de minerai, et l'on est étonné qu'il n'en soit pas résulté, comme alluvions aurifères, autre chose que les très maigres dépôts lavés au début de la découverte du pays et aujourd'hui abandonnés.

Les lambeaux de Karoo, que nous rencontrons autour de Johannesburg, paraissent appartenir uniquement à la partie élevée de cet étage, les couches inférieures dites de Dwycka et de Koonap faisant à peu près défaut (*). Étant donné qu'il s'y rencontre fréquemment de la houille exploitable, on les a même classés, en général, dans l'étage tout à fait supérieur, dit de Stormberg, considéré dans la majeure partie de l'Afrique du Sud comme contenant les couches houillères à sa base, et rattaché au rhétien. Les fossiles y sont extrêmement rares. Néanmoins M. Schmeisser a trouvé à Holfontein Colliery, dans le Wilje-Rivier-Gebiet (district de Middelburg), c'est-à-dire déjà loin au Nord, quelques restes de *Glossopteris* et de *Schizoneura*; il a également signalé un échantillon de *Glossopteris* recueilli par le Dr Simon dans le même district, à Olifant-River. Sur une indication qui nous avait été donnée par M. Brisse, Ingénieur des Mines, nous-même avons pu retrouver un gisement de plantes situé seulement à 3 kilomètres au sud de Johannesburg, à Francis, près d'un grand réservoir établi au sud de la Ferreira (**). Ce gisement se compose d'un lambeau très restreint de schistes et grès avec mince veinule de houille, sur lequel on avait fait autrefois un travail de recherches qui n'a donné

(*) M. Schmeisser parle pourtant (p. 66) d'une roche recueillie sur la ferme de Modderfontein à 12 kilomètres est de Bocksburg, qu'il assimile aux conglomérats de Dwycka.

(**) C'est probablement le gisement de Rosettenville signalé par M. Goldmann (p. 24) comme renfermant des *Glossopteris*, *Cyclopteris* et autres plantes triasiques.

aucun résultat. Les plantes recueillies en ce point comprennent, d'après M. Zeiller, qui a bien voulu les examiner : *Glossopteris Browniana* Brongt, *Gloss. communis* Feistm., *Gloss. angustifolia* Brongt, *Vertebraria indica* Royle, *Phyllotheca* sp., et *Nœggerathiopsis Hislopi* Feistm.

La présence de ces divers *Glossopteris* conduit à rapporter ce gisement à l'étage de Beaufort, la flore de l'étage de Stormberg ne comprenant plus, à ce qu'il semble, de *Glossopteris*. L'âge en serait donc probablement le permien supérieur ou le trias (étage moyen des Lower Gondwanas de l'Inde), tandis que l'étage de Stormberg appartient au rhétien ou, du moins, au trias supérieur : d'où résulterait, en fin de compte, cette conclusion qu'une partie au moins des houilles du Transvaal, celles d'Olifant-River et de Holfontein Colliery, en relation directe avec les bancs à *Glossopteris* précédents, se rattacherait elle-même, non à l'étage de Stormberg, mais à celui, plus ancien, de Beaufort.

Enfin M. Goldmann signale encore, à Vereeniging, à 50 kilomètres sud de Johannesburg, des couches de houille discordantes sur la dolomie qui contiendraient, avec des plantes triasiques, deux fossiles carbonifères, *Lepidodendron* et *Favularia* (*).

Les couches du Karoo, qui apparaissent dans le Transvaal, Natal et la colonie du Cap, contiennent, en bien des points, d'importants et puissants dépôts de houille, sur lesquels se sont développées de nombreuses exploitations, parmi lesquelles nous citerons du Nord au Sud :

1° Dans le Transvaal, celles de Vereeniging, à MM. Lewis et Marks, Douglas Holfontein, Olifant-River près de la Wilje-River (affluent du Rhenoster, qui lui-même se jette dans l'Olifant-River) au sud de Middelburg et non loin de la ligne de Pretoria à Lourenço

(*) *South African mining and finance*, t. I, p. xxiv.

Marques (Delagoa) ; celles de Bocksburg [Brakpan Colliery, Springs, Cassel Colliery (Daggafontein)], etc., immédiatement à l'Est de Johannesburg ; 2° celles du Swaziland ; 3° dans Natal, celles des environs de Newcastle et Ladysmith, près de la ligne de Johannesburg à Durban ; 4° dans la colonie du Cap, celles de Parys, presqu'à la frontière du Transvaal, sur la rivière Vaal ; celles de Kronstad, sur la ligne de Johannesburg à Capetown ; celles, de Cyphergat et d'Indwe près de l'embranchement de Springfontein à East London ; enfin, celles de Molteno, Bushman's Hoek, etc.

Le charbon de Cyphergat, qui a alimenté jusqu'ici les mines de diamants de la Compagnie de Beers, représente environ 51 p. 100 du même poids de charbon du pays de Galles ; à la mine d'Indwe, récemment achetée par la Compagnie de Beers, le charbon, qui forme, sauf quelques liens schisteux, une couche de 2 mètres, représente, dit-on, 70 p. 100 de charbon anglais.

Nous empruntons à M. Schmeisser quelques coupes du Karoo prises dans la région de Bocksburg :

Au charbonnage de Brakpan, l'un des plus importants de la région et celui qui, par suite des tarifs de chemins de fer tout à fait exorbitants, fournit la plus grande partie des mines d'or du Rand, on exploite deux couches extrêmement régulières et bien horizontales, dont la supérieure a $0^m,60$ d'épaisseur, l'inférieure $6^m,40$. La coupe complète est la suivante :

Karoo	Terrain superficiel et schistes décomposés	5	mètres.
	— — schistes	7	»
	— — grès	12	»
	— — schistes argileux	$1^m,50$	
	— — *houille*	0 ,7	
	— — schistes argileux	2 ,7	
	— — houille	6 ,4	
	— — schistes argileux	1 ,0	

Formation ancienne recouverte par le Karoo en stratification discordante.

A Douglas (Middelburg), on a de 3 à 6 mètres de charbon (parmi lequel du charbon à coke) ainsi répartis (*) :

Schistes argileux Grès grossier	16	mètres.
Charbon pour chaudières	$1^m,8$	
Charbon pierreux inférieur	0 ,03	
Charbon pour forge	1 ,4	
Mélange de charbon pour chaudières et pour forge.	1 ,0	
Grès grossier solide	1 ,0	
Charbon à gaz et à coke	1 ,4	
Charbon pour chaudière	0 ,78	

Grès.

Le charbon de Bocksburg, presque seul utilisé dans le Rand, est plus maigre, plus anthraciteux, plus chargé de cendres (**) que celui de Middelburg, où l'on trouve des couches à coke, et, par suite, inférieur ; mais il donne pourtant des résultats très convenables pour le chauffage des chaudières, et les facilités extrêmes d'exploitation qu'il présente permettraient de l'avoir, sur les mines d'or, à très bon compte s'il n'était, jusqu'ici, ainsi que nous l'avons dit, grevé de frais de transport excessifs.

Comme nous n'aurons pas l'occasion de revenir sur cette question, nous donnerons de suite ici quelques chiffres relatifs à l'exploitation des mines de houille.

(*) Cette région est trop éloignée de Johannesburg et les transports ont été, jusqu'à ces derniers temps, trop difficiles pour qu'elle ait pu prendre encore tout le développement dont, suivant M. Schmeisser, elle serait susceptible. Elle présente cette particularité d'être la seule donnant du charbon à coke : ce qui, si un jour on arrive à introduire l'industrie de la fonte au Transvaal, peut présenter une grande importance. A Douglas on fait déjà un peu de coke.

(**) D'après M. Schmeisser (p. 69), on aurait trouvé, dans les cendres de houille de Bocksburg, une teneur en or de 7 grammes à la tonne. Le fait, s'il est exact, s'explique aisément par cette circonstance que les couches du Karoo, qui contiennent la houille, se sont déposées sur les couches aurifères démantelées et ont été, sans doute, en partie constituées à leurs dépens.

La production a été en 1893 et en 1894 :

		1893 t.m.	1894 t.m.
District de Bocksburg	Coal Trust Company (Fermes de Brakpan (*) et Rietfontein)	209.000	256.000
	Cassel Colliery (Daggafontein)	50.000	122.000
	Springs Colliery		54.000
	Victoria and Phœnix Colliery		25.500
	South Wales Colliery		18.500
	Bocksburg Collieries		18.500
	Wishaw Coal Mining Colliery		13.000
	Total		505.500
South african and Orange free State Coal and Mineral Association			161.000

Dans le district de Bocksburg, les mines de Coal Trust, Cassel, Victoria and Phœnix, South Wales, Bocksburg et Wishaw ont fourni aux mines d'or 451.000 tonnes de charbon en 1894; la Springs Colliery a alimenté la compagnie de chemin de fer Netherlands Railway Company, à laquelle elle appartient; enfin, les charbons de la South African ont été consommés en dehors des frontières de l'État. On peut, en outre, citer, dans le même district, la Great Eastern (à Grootvlei) et la Cleydesdale, entreprise nouvelle située près de la Cassel Colliery.

B. — Étude spéciale de la série aurifère du Witwatersrand.

Allure générale des couches. — Leur plongement et leurs dislocations postérieures. — Relation possible de la richesse en or avec la nature minéralogique des couches. — Descriptions successives des différents reefs aurifères d'une extrémité à l'autre du Rand (**).

(*) La Brakpan Colliery a célébré récemment une fête pour l'extraction de son premier million de tonnes (short tons de 907 kilogrammes).

(**) Nous nous bornerons dans ce chapitre à la description stratigraphique des couches aurifères; on ne s'étonnera donc pas de n'y pas trouver, sur la nature minéralogique des minerais, le mode de cristallisation de l'or, etc., des détails qui ont leur place marquée ultérieurement. Il nous suffit ici de rappeler ce fait fondamental et bien connu que les minerais d'or du Witwatersrand sont des couches sédimentaires de conglomérats et de quartzites, où l'or se trouve, avec de la pyrite de fer, dans le ciment qui enveloppe et soude entre eux les galets ou grains de quartz.

Nous avons indiqué plus haut quelle est l'allure générale de la série des quartzites et conglomérats du Witwatersrand, où se trouvent les couches aurifères exploitées, et nous avons essayé de montrer notamment comment ces terrains constituaient un grand synclinal de direction N.-E. — S.-O. : de manière que, dans tout le Rand proprement dit, du West-Rand à Modderfontein, sur la zone principale des mines, les couches plongent constamment vers le Sud, tandis que, sur le flanc sud de ce synclinal, du côté du Nigel et d'Heidelberg, elles plongent vers le Nord.

Cette pente des couches, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer et comme un schéma ci-joint (Pl. III) le met en évidence, est absolument variable d'un point à l'autre entre la verticale et l'horizontale et arrive même, en quelques points spéciaux comme la Chimes, à des renversements locaux; néanmoins, sur n'importe quelle coupe N.-S. perpendiculaire à l'axe du synclinal, il semble généralement, comme on doit s'y attendre, que les couches, successivement rencontrées du Nord au Sud, tendent de plus en plus vers l'horizontale, à mesure qu'on se rapproche de l'axe du synclinal ; à peu près dans cet axe, le Blackreef est toujours à peu près horizontal.

Un fait très caractéristique, conséquence directe de cette disposition des couches en fond de cuvette, et dont la constatation présente une importance capitale pour le développement industriel du pays, c'est que le plongement d'une couche donnée dans une section et, par suite, dans une mine déterminée va, d'une façon constante et très rapidement, en diminuant à mesure que l'on s'enfonce,

en sorte que, de 70° ou 80° par exemple à l'affleurement, on peut, avant d'atteindre 300 mètres de profondeur verticale, n'avoir plus que 30°.

La conséquence pratique de ce fait est que, pour exploiter une longueur donnée suivant l'inclinaison de la couche ou reef, on n'a besoin de descendre, suivant la verticale, que d'une profondeur beaucoup moindre qu'il ne l'eût fallu si elle avait conservé sa pente primitive : par suite, les travaux de mines étant forcément limités à une certaine profondeur, soit par des impossibilités matérielles tenant à la chaleur, soit simplement par l'augmentation des frais d'extraction ou d'épuisement, la quantité de minerai sur laquelle, un jour ou l'autre, l'homme peut espérer mettre la main s'est trouvée considérablement accrue (*). Cette question, très discutée, de la limite d'exploitation en profondeur, s'appelle, du nom anglais des concessions ne possédant pas l'affleurement de leur reef, la question des *deep levels*.

Un autre résultat connexe de ce changement de pente des couches en profondeur a été une certaine surprise pour les premières sociétés exploitantes, qui, assimilant à tort leur couche aurifère à un filon, c'est-à-dire à un plan à peu près vertical, s'étaient contentées de prendre des concessions assez étroites dans le sens de l'inclinaison du reef, en supposant que celui-ci y resterait néanmoins jusqu'à la limite d'exploitabilité pratique, tandis que ce reef, par suite de son aplatissement, est, au contraire, assez vite sorti de la concession pour entrer dans un terrain voisin.

Les planches ci-jointes III et IV mettent en regard les unes des autres une série de coupes transversales à la

(*) Par contre, la quantité de minerai comprise dans une concession, ou *claim*, est d'autant plus restreinte que la couche est plus rapprochée de l'horizontale, puisque cette concession est limitée à quatre plans verticaux menés suivant les quatre côtés du rectangle qui le définit à la surface.

même échelle prises de l'Ouest à l'Est en des points différents du Witwatersrand ; on y voit généralement se dessiner la courbure des reefs d'une façon très régulière et, sauf dans des cas exceptionnels comme à la Chimes, où le reef est particulièrement disloqué par des failles, ou encore à la Simmer and Jack où, étant presque horizontal, il prend, par suite d'une ondulation légère, un changement complet de direction, on constate que la ligne de plus grande pente des reefs dessine, dans toute la partie explorée jusqu'ici par les travaux, une courbe bien continue : ce qui est, du reste, naturel pour un ensemble de terrains composés de bancs homogènes, régulièrement superposés et, jusqu'à un certain point, indépendants, qui, soumis à un effort mécanique intense de plissement, ont dû se courber en glissant légèrement les uns sur les autres, comme les cartes d'un jeu qu'on essayerait d'infléchir en rapprochant ses deux extrémités.

Les glissements des strates les unes sur les autres sont, sans doute, la cause des nombreuses salbandes argileuses, produit d'une friction des deux bancs contigus suivant une faille longitudinale, salbandes que nous aurons souvent à signaler dans cette description du Rand et dans lesquelles ont cristallisé à l'occasion, par sécrétion, des veines de quartz blanc laiteux avec concentrations géodiques des métaux disséminés dans le conglomérat voisin (pyrite de fer, parfois chalcopyrite, galène, blende ou or natif). C'est à eux également qu'il faut probablement attribuer les cassures parallèles à la direction des couches suivant lesquelles, par un bâillement des strates, sont souvent montés des épanchements de roches éruptives ou dykes (diabases, porphyrites, etc.).

Les accidents transverses, qui ont pu, soit se produire par déchirure des bancs ainsi courbés, soit avoir lieu postérieurement, n'ont, en somme, qu'une importance restreinte dans le Rand, où les couches peuvent être considé-

rées, par comparaison avec ce qu'on observe généralement dans les terrains primaires, comme des plus régulières. Il faut seulement noter à ce sujet le nombre anormal des failles inverses qui s'élève, paraît-il, quand on fait le compte exact, à près de 70 p. 100.

Cette remarque d'ensemble sur la régularité relative des couches (en ce qui concerne les fissures ou accidents mécaniques), jointe aux observations faites sur toutes les coupes transversales relevées dans les travaux ou les sondages actuels, nous amène à penser que, pour prévoir l'inclinaison future des reefs dans la suite des travaux, on peut, avec grande vraisemblance, prolonger les courbes actuelles des sections transversales suivant une loi de continuité. Assurément, il n'y aurait rien d'impossible à ce que, dans un terrain plissé comme celui-là, de petits plis secondaires vinssent se greffer sur le grand pli principal, et produire comme une succession de faibles ondulations autour de la courbure générale, et, plus le reef se rapproche de l'horizontale, plus de semblables sinuosités ont des chances de se produire ; mais de tels plis secondaires n'ont aucune importance au point de vue de l'avenir des exploitations, et, autant qu'on peut se prononcer sur des questions de ce genre, nous ne croyons pas qu'il y ait à craindre, après une partie peu inclinée, reconnue aujourd'hui dans les travaux, de trouver dans les mines de deep level, en profondeur, une reprise brusque des fortes pentes de l'affleurement.

Si l'on prolonge la courbure des reefs par continuité et en tenant compte de leur réapparition probable sur l'autre flanc du synclinal à 25 ou 30 kilomètres de distance au moins, on arrive, d'autre part, à cette conclusion, que les pentes assez faibles de 20 ou 30°, atteintes dès à présent, ont des chances de se prolonger longtemps, et que, plus on ira, plus la diminution dans l'inclinaison se fera lentement, puisque, suivant les probabilités, on ne doit

arriver à l'horizontale qu'en approchant de l'axe du synclinal, c'est-à-dire dans une zone où les couches doivent être tellement profondes, qu'il y a très peu de chances pour qu'on les aille jamais chercher.

Si nous passons maintenant à l'étude détaillée des couches (quartzites et conglomérats) constituant la série aurifère, la question qui va, comme de juste, attirer spécialement notre attention désormais, c'est l'examen des bancs renfermant le métal précieux. Cet or, il est important de le dire aussitôt, n'est pas là en gros cristaux, filaments ou veinules, comme dans les quartz aurifères de Californie ou d'Australie : il se présente, dans tout le Rand, associé, *à l'état invisible*, à la pyrite de fer et à la silice dans le ciment d'un certain nombre de couches interstratifiées, parmi lesquelles quelques bancs de conglomérats bien définis, ou reefs, jouent, on le sait, le rôle principal.

Il convient, à ce propos, de faire une remarque d'ensemble sur le choix des couches exploitées, choix qui ne s'impose pas au mineur, comme on le croit trop souvent, par des caractères bien tranchés appartenant exclusivement aux bancs aurifères et nettement différenciés de ceux des couches réputées stériles.

Jusqu'à la découverte des gisements du Witwatersrand, on connaissait bien, d'une façon plus théorique que pratique, des exemples de conglomérats aurifères ; mais, en dehors de quelques couches de ce genre, appartenant à l'époque tertiaire et se rattachant à la forme récente des placers, on n'en exploitait aucune industriellement. Lorsque, de proche en proche, après avoir lavé d'abord quelques alluvions aurifères, puis prospecté divers filons de quartz aurifère dans le Transvaal, on eut été amené à constater l'exploitabilité des conglomérats aurifères du Witwatersrand, on commença par s'attacher, avec une sorte de respect superstitieux, à rechercher des bancs

absolument identiques à ceux qui avaient donné les premiers succès : d'où l'importance très grande, et souvent d'ordre financier, que l'on attache encore (d'une façon fort exagérée à notre avis), à savoir si tel reef, comme celui du Champ d'Or ou de Modderfontein, fait ou ne fait pas partie de la série du Main-Reef. Ce n'est que peu à peu, et timidement, qu'on a fait des tentatives sur d'autres reefs analogues, ayant donné de mauvais résultats ou ayant passé inaperçus au début, même sur ceux qui pouvaient se trouver compris dans les premiers travaux de mines : par exemple le Main-Reef proprement dit, banc épais tout d'abord laissé de côté (*).

Il faut bien dire ici que, le développement industriel du pays ayant marché très vite, on y a manqué longtemps d'ingénieurs vraiment capables, en nombre suffisant pour mettre à la tête de toutes ces entreprises ; et ceux qui étaient là ont eu tout leur temps absorbé par les travaux d'installation, de développement, etc. (en somme, par une besogne presque matérielle), ce qui ne leur a pas permis de penser à des recherches en dehors de leur train-train journalier ; mais il semble permis également de mettre en cause cet esprit d'obstination entêtée dans une voie adoptée au début, cette confiance exclusive dans les méthodes pratiquement éprouvées par le voisin, qui, fond de l'esprit anglais, peuvent s'appeler, suivant les cas, de la persévérance ou de la routine. Un Français ou un Américain sont surpris de voir qu'avec l'ampleur des travaux du Witwatersrand, avec les bénéfices énormes réalisés par certaines entreprises et les capitaux dont elles disposent, aucune n'ait eu l'idée de faire un travail de reconnaissance sérieux, qui eût pu

(*) L'augmentation incessante de la force des batteries de pilons, en réduisant les frais de broyage, à la condition de broyer beaucoup de minerais, a amené à abattre, outre les premiers minerais riches, des minerais de plus en plus pauvres.

amener pratiquement à des résultats d'une valeur capitale ; que, cantonnées sur certains bancs suivis depuis l'affleurement, elles n'aient jamais entrepris un travers-banc au toit ou au mur ayant seulement une centaine de mètres de long et destiné à constater s'il n'existerait pas, en dessus ou en dessous, quelque couche aurifère payante ayant été dédaignée à la surface. C'est là, sans doute, affaire de l'avenir, pour le jour, assez prochain d'ailleurs dans le cas de quelques mines, où les gisements connus seront épuisés ; mais alors, quand les bénéfices disparaîtront, de semblables dépenses de recherches, qui actuellement eussent été noyées dans la masse des bénéfices, pourront sembler lourdes. A peine aujourd'hui si l'on essaye le toit et le mur du reef, qui pourtant sont, dans bien des cas, presque impossibles à distinguer de la roche aurifère. Tout au plus s'est-on, dans ces derniers temps, décidé à faire, de distance en distance, des recoupes pour aller chercher le Main-Reef proprement dit (jugé d'abord inexploitable), après qu'un certain nombre de mineurs plus hardis eurent constaté la possibilité d'en tirer parti, au moins par tronçons. L'habitude de l'abattre également se répand peu à peu dans le Witwatersrand, et l'on peut se demander si, le jour où il sera passé en dogme que ce banc est exploitable, tous les ingénieurs anglais du Rand ne l'exploiteront pas, au contraire, partout à l'aveuglette et par esprit d'imitation.

On est d'autant plus en droit de faire de semblables observations qu'il est souvent extrêmement difficile en pratique de suivre la véritable couche aurifère et que, dans bien des cas, le hasard, amenant quelque constatation sur des roches réputées stériles, a produit de véritables surprises. Tantôt l'on s'est aperçu (particulièrement dans le South Reef des mines de l'Est, toujours divisé en plusieurs veines) que l'on suivait depuis longtemps une veine pauvre, alors qu'une veine riche était

à quelques pieds au toit ou au mur; ailleurs, comme à la Jumpers, on a découvert un beau jour un reef intercalé entre ceux que l'on exploitait, le Middle reef, dont on ignorait l'existence ; à la Ferreira, c'est après avoir vendu des stériles pour l'empierrement de la ville de Johannesburg, qu'un ingénieur doué d'initiative, s'étant avisé de les faire essayer, a constaté la présence de l'or en quantités payantes dans les débris d'un banc, toujours rejeté jusque-là comme quartzite sans valeur ; de même encore, à la Buffelsdoorn, on ne s'est attaqué aux quartzites aurifères travaillés aujourd'hui, qu'après avoir fait d'abord passablement de dépenses inutiles sur des conglomérats voisins.

D'une façon générale, l'expérience acquise ainsi peu à peu tend à infirmer légèrement l'opinion, d'abord admise par tous et restée approximativement exacte dans la majorité des cas, que l'or existe uniquement dans les conglomérats, et surtout dans certaines veines minces à gros galets de conglomérats, telles que le South Reef et souvent le Main-Reef Leader dans le centre du Rand. Nous venons de citer l'exemple de la Buffelsdoorn, où l'or est dans des quartzites à grains fins (il est vrai, en quantités très faibles), concentré, semble-t-il, le long de certaines veinules pyriteuses et carburées, presque sans aucune trace de galets ; le reef de Rietfontein donne des teneurs très fortes avec des grès quartzites fort peu chargés de galets; les reefs de Modderfontein et celui du Nigel sont également à très petits éléments et comptent néanmoins parmi les plus riches (*). Par contre, on observe, entre deux reefs

(*) M. Bel a rapporté à l'École des Mines de fort curieux échantillons provenant de la ferme de Witpoortje (au sud du Champ d'Or), échantillons formés de grès quartzite rosé avec grands cristaux de pyrite très espacés n'ayant certainement subi aucun transport après leur cristallisation. Les pyrites, sur ce point, ne sont pas aurifères, mais prouvent que les eaux où se sont déposés les quartzites détenaient du sulfure de fer en dissolution.

aurifères, des conglomérats à galets énormes comme ceux du Kimberley reef, de l'Elsburg reef ou du reef de Geldenhuisvalley qui, jusqu'ici du moins, ne paraissent pas susceptibles de donner lieu à des exploitations prospères. Il n'y a donc pas un rapport direct entre la dimension des galets ou graviers et la richesse en or, ou, du moins, d'autres influences peuvent intervenir et contre-balancer celle-là.

Il est également impossible de dire que l'or (et la pyrite, toujours connexes, comme nous le verrons) aient une tendance constante à se concentrer de préférence, soit à la base des couches, comme cela a lieu presque toujours dans les placers aurifères, soit au sommet ; tantôt c'est l'un des cas qui se présente, tantôt l'autre, tantôt un cas intermédiaire et, dans l'étendue d'une même mine, on passe de l'une à l'autre disposition sans raison apparente, en sorte que, l'aspect du minerai n'étant jamais une indication suffisante de sa richesse, et l'or n'y étant jamais visible, ce n'est que par des analyses ou essais constants qu'on peut se diriger. Nous trouverons, par exemple, dans plusieurs mines du centre du Rand, à la Ferreira, la Village Main-Reef, dans le Main-Reef Leader et le South-Reef, qui sont distants d'environ 30 mètres, les parties riches en regard l'une de l'autre, des deux côtés du quartzite stérile qui sépare ces deux bancs, c'est-à-dire au toit du Main-Reef Leader et au mur du South-Reef (superposé au premier).

La nature minéralogique des galets ne paraît pas non plus avoir une relation nette avec la richesse en or, comme cela devrait se produire si l'or et les galets provenaient de la destruction d'un même filon de quartz aurifère ; c'est un point sur lequel nous reviendrons en décrivant les minerais ; dans certaines mines, il est vrai, on attache de l'importance à la présence des quartz noirs enfumés, considérés comme un bon indice ; mais, très souvent, cette

idée est contredite par l'expérience ; seule, la teinte sombre du ciment résultant de l'abondance des inclusions pyriteuses, et la présence de cette pyrite elle-même, sont des caractères assez constants pour les minerais riches.

Une autre question de grande importance pour l'industrie des mines d'or, c'est la disposition plus ou moins régulière des zones riches et leur continuation en profondeur ; nous nous réservons de consacrer ultérieurement tout un paragraphe à cette question ; nous dirons donc seulement ici que, dans son ensemble, l'étude du Witwatersrand montre l'existence d'un certain nombre de zones particulièrement riches qui apparaissent aussitôt sur le graphique des teneurs moyennes industrielles représenté par la Planche III (*), et dans le détail on retrouve également, comme dans tous les gisements d'origine quelconque, une certaine localisation des hautes teneurs suivant des taches de forme irrégulière disposées dans le plan des couches ; on remarque également que la rencontre d'une faille, ou d'un dyke ayant joué le rôle de faille, amène souvent (par la suppression de parties intermédiaires), un changement brusque dans les teneurs et le passage subit d'une zone riche à une zone pauvre ou réciproquement : d'où cette idée plus ou moins exacte, que les colonnes riches ont une tendance à affecter la direction générale des failles qui, dans le centre du Rand, est souvent Nord-Est — Sud-Ouest.

(*) Plusieurs causes tendent à empêcher ce graphique de présenter une rigueur absolue ; car la teneur moyenne dans une mine peut, sans que la valeur réelle soit en rien modifiée, se trouver augmentée ou diminuée en apparence suivant que l'on procédera à un triage très soigné du minerai ou, au contraire, que l'on passera beaucoup de minerai pauvre avec le riche. Généralement l'augmentation de la force de la batterie dans une mine a pour conséquence une diminution dans la teneur moyenne parce qu'on est amené à traiter des minerais pauvres jusque-là négligés. Néanmoins, la distribution générale des parties riches sur notre courbe correspond bien à une réalité.

Nous venons de parler là des teneurs moyennes, pour lesquelles il peut être question d'une certaine constance et d'une régularité relative ; quant aux teneurs locales, elles sont, au contraire, d'une irrégularité extrême, ainsi que nous le mettons en évidence par les graphiques de la Planche VI. On peut constater, sur ces graphiques, qui sont la simple traduction des plans d'essais sous une forme plus parlante aux yeux, de quelle façon très approximative se vérifie une loi très généralement considérée comme exacte dans le Rand : celle des variations en sens inverse de la richesse et de l'épaisseur ; on croit généralement à Johannesburg que, par une sorte de compensation, un reef est d'autant plus riche qu'il est plus mince, comme s'il n'y avait eu qu'une quantité donnée d'or à y répartir. En réalité, les exceptions à ce principe sont innombrables.

Les variations de la teneur en profondeur, auxquelles on attache avec raison une importance capitale pour l'avenir du Witwatersrand, nous paraissent, d'après toutes les observations faites sur les plans d'essai, devoir être du même ordre que les variations en direction bien constatées aujourd'hui, c'est-à-dire qu'on rencontrera probablement des zones riches et des zones pauvres alternées, sans qu'il semble y avoir aucune raison pour prévoir soit un appauvrissement, soit un enrichissement général ou théorique. Étant donnée la faible dimension des concessions d'affleurement, il est assez naturel de supposer que les concessions immédiatement contiguës suivant l'inclinaison, ou deep levels, resteront, du moins quelque temps, dans la même zone et conserveront par suite une richesse analogue. Mais, si l'on allait à de grandes distances, il serait parfaitement possible qu'à une zone riche sur l'affleurement correspondit une zone pauvre en profondeur et réciproquement.

Nous allons maintenant procéder à la description

détaillée des principaux reefs exploités, en les abordant successivement du nord au sud : d'abord le Rietfontein reef, puis la série du Main Reef, les Kimberley et Battery reef, le Blackreef, le Nigel reef, enfin le reef de Buffelsdoorn, et nous étudierons chacun d'eux de l'Ouest à l'Est.

Nous ferons remarquer, à cette occasion, qu'outre son grand intérêt industriel et spécial, une semblable étude, qui résulte pour nous d'un très grand nombre d'observations faites sur place et à des intervalles de temps assez rapprochés pour avoir été bien présentes toutes ensemble à notre mémoire, peut présenter une certaine valeur pour la géologie générale : il est rare, en effet, que des travaux de mines aussi étendus donnent la possibilité d'étudier les modifications d'une série sédimentaire ancienne sur d'aussi longues distances, aussi bien en direction qu'en inclinaison.

Par contre, nous ne nous dissimulons pas que l'accumulation des menus détails, dont se composera cette monographie, pourra présenter souvent une certaine monotonie ; mais ces détails (qui, d'autre part, sont un élément d'appréciation pour chacune des mines dont nous allons parler) nous ont semblé nécessaires afin d'asseoir sur une base solide les considérations générales que nous avons indiquées déjà et celles que nous énoncerons ultérieurement.

Nous allons commencer par dire quelques mots des couches aurifères, ou reefs, situés au nord de Johannesburg et de la série du Main-Reef, reefs sur lesquels ont été faites diverses tentatives malheureuses au début de l'existence du Rand et dont un seul, celui de Rietfontein ou du Preez's reef, a donné lieu, jusqu'ici, à une exploitation fructueuse.

Parmi ces reefs, les anciennes coupes mentionnaient d'abord le Bothas reef, connu seulement dans l'ouest du Rand, où on peut le suivre à travers le French Rand, le Champ d'Or, Luipaardsvlei, les West Rand mines, etc. : il semble fort probable que ce reef n'est pas autre chose que le Main-Reef, rejeté au nord par une faille, et c'est avec le Main-Reef que nous le décrirons. L'ancien Erasmus reef de Roodeport et Vogelstruis nous paraît être également la suite du Main-Reef.

Il y a néanmoins, au nord du Rand, des bancs de conglomérats aurifères ayant une existence indépendante de cette série du Main-Reef, et ce sont ceux dont nous voulons parler ici ; ainsi, quand nous avons décrit plus haut la coupe des terrains situés au nord de Johannesburg, du côté de la ferme de Doornfontein (Pl. I, *fig.* 2), nous avons vu qu'il s'y présentait, au milieu des quartzites, d'importantes masses de conglomérats visibles sur tout le flanc sud de la vallée de Geldenhuis, et se prolongeant, avec quelques dislocations bien nettes, dans la direction de Rietfontein. C'est, sans doute, à quelque veine de cette formation que correspond le reef reconnu et exploité jusqu'ici sur la seule concession de Rietfontein. Ce reef de Rietfontein ou du Preez's reef, est, ainsi que nous le verrons, très mince et très irrégulier : ce qui suffit à faire comprendre comment des travaux de recherches, restés très sommaires, n'ont pas encore permis de suivre exactement sa trace. Situé à la base de la série aurifère du Rand, il présente, avec le Blackreef, placé tout au contraire absolument au sommet de cette formation, certaines analogies curieuses, notamment la présence de galets de pyrite, bien visibles à l'œil nu, et peut-être la relation avec une roche éruptive.

A **Rietfontein** (*), la coupe complète des terrains comprend trois reefs qui, du Nord au Sud (c'est-à-dire du toit au mur, puisque toutes les couches plongent au Sud), sont les suivants :

Tout d'abord, le North reef, exploité seulement au

(*) Coll. École des Mines, 1478.

puits ouest n° 7, est un véritable banc de conglomérats, d'une épaisseur très variable entre $0^m,15$ et $0^m,30$, exceptionnellement un mètre. Souvent il présente à sa base, sur $0^m,03$ ou $0^m,04$ d'épaisseur, un véritable lit de pyrite à éléments de 2 à 3 millimètres de diamètre, très nettement roulés et se montrant même à l'œil nu sous forme de galets (*), caractère que nous ne retrouverons ailleurs dans le Rand qu'au Blackreef, et les deux fois avec les mêmes particularités de très fortes teneurs irrégulièrement réparties, qui doivent présenter quelque corrélation avec cet indice d'une sédimentation moins complète.

Ce North reef, qui n'a joué jusqu'ici, à Rietfontein, qu'un rôle très restreint dans l'extraction, présente un rapprochement curieux avec des masses de diabase situées des deux côtés, mais surtout au nord, masses de diabase qui, plus à l'ouest, se raccordent sans doute avec celles de la ferme de Doornfontein.

A environ 15 mètres au sud de ce North reef se trouve le reef principal de Rietfontein, comprenant deux veines désignées sous les noms de Middle reef et de Middle reef leader (**). Les exploitations, qui portent sur 1 mètre à $1^m,30$ de haut pour la facilité du travail, abattent une masse de quartzite très blanc, au milieu de laquelle se trouvent deux minces traînées de galets, ou simplement deux veines pyriteuses d'autant plus difficiles à suivre dans la demi-obscurité de la mine que ces galets sont blancs comme la masse encaissante : c'est avec ces galets que la pyrite aurifère, à formes souvent cristallines, est en relation et sur leur périphérie qu'elle apparaît. L'aspect, très spécial et très curieux, de ce minerai, rappelle beaucoup celui de certains bancs de quartzites transformés par métamorphisme en quartz, tels que ceux suivis par

(*) Échantillons 1478, 1 et 2.
(**) Ech 1478, 3 à 6.

M. Barrois, en Bretagne, au milieu du granite. Par endroits seulement, les veines de conglomérats, à petits galets d'environ 1/2 centimètre, atteignent 4 à 5 centimètres d'épaisseur : ce qui a permis de reconnaître ce reef à l'affleurement ; quand on approche d'un dyke, la teinte semble devenir plus sombre.

Le long de ce reef, fréquemment, des phénomènes de laminage se manifestent par la présence de délits talqueux et schisteux, abondants surtout au mur du minerai, sur lesquels parfois s'est déposé, au contact de celui-ci, un peu d'or visible. Souvent aussi l'on observe, au mur du reef, une veine de quartz blanc comprise entre deux joints schisteux, qui aide à suivre le reef, mais qui ne lui est pas toujours parallèle et passe parfois à son toit. Ce sont des phénomènes que nous rencontrerons assez souvent dans le Rand, où de semblables délits argileux avec sécrétion quartzeuse sont notamment très fréquents au mur du Main-Reef Leader.

Enfin, au Sud, il existe une grosse masse de conglomérats de 15 à 20 mètres d'épaisseur, intéressante à noter parce que, seule visible en réalité à la surface, elle y jalonne, en quelque sorte, le reef mince situé à son toit. Ce conglomérat, formé de petits galets et tenant au plus 3 à 4 grammes d'or, est le Stable reef ; il est adossé au sud à d'épais bancs de quartzite, qui forment une crête continue de Rietfontein à Geldenhuis Estate.

La mine de Rietfontein est divisée en deux quartiers bien distincts, entre lesquels se trouve toute une zone inexplorée. Dans la mine ancienne, à l'Est, la couche part d'environ 50° à l'affleurement pour s'aplatir bientôt à 20° aux sixième et septième niveaux. Dans la mine Ouest, au troisième niveau, la pente est encore de 50°, mais s'aplatit également en profondeur.

Toute cette région est une des plus disloquées du Rand : ce qui crée quelques difficultés avec une couche mince,

déjà difficile à suivre par elle-même, qui, en outre, étant très plate, est parfois déplacée très loin par des failles longitudinales ; mais le minerai y est souvent d'une grande richesse.

La coupe théorique ci-jointe (*fig.* 2) donne un exemple des failles inverses reconnues aux environs du sixième niveau, et qui, là, ont ce résultat favorable d'augmenter la longueur de minerai à prendre, suivant l'inclinaison. Une grande faille longitudinale, traversée aujourd'hui, a coupé le reef du troisième au sixième niveau, et fait, quelque temps, interrompre les travaux.

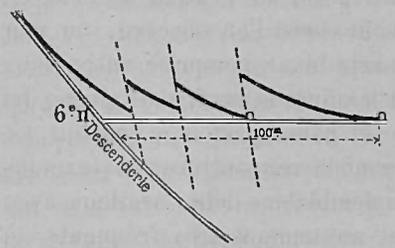


Fig. 2.
Coupe verticale théorique du Middle reef déplacé par des failles inverses à Rietfontein (mine Est, puits 2).

Ce Rietfontein reef semblerait devoir se prolonger vers l'Ouest, comme la crête de quartzite à laquelle il est adossé, sur la ferme de Geldenhuis; mais on ne l'y a pas encore reconnu d'une façon précise. A l'extrémité Ouest du Rand, on lui assimile le reef d'Alexandra Estate.

A environ 2 kilomètres au Sud du Rietfontein reef, se trouve, sur toute la longueur du Rand, l'importante série, très bien reconnue, du *Main-Reef*, sur laquelle ont porté jusqu'ici les principales exploitations minières et dont nous allons nous occuper maintenant. Cette série comprend, comme éléments utilisés, du Nord au Sud, c'est-à-dire du mur au toit : le Main-Reef, relativement pauvre, ayant jusqu'à 7 et 8 mètres d'épaisseur, négligé au début, mais qu'on commence à exploiter aujourd'hui un peu partout, puis le Main-Reef Leader, souvent très voisin du Main-Reef, et le South-Reef, tous deux généralement minces (entre 3 ou 4 centimètres et 1 mètre), qui

constituent la plus sûre richesse du Rand. Il existe, en outre, souvent, des reefs inexploités, tels qu'un North reef sous le Main-Reef, ou un Middle reef entre le Main-Reef Leader et le South reef.

Si nous voulons suivre cette série d'un bout à l'autre, et, par exemple, de l'ouest à l'est, afin de voir ses modifications successives, nous sommes assez embarrassé pour savoir où commencer ; car, dans tout l'Ouest, les raccordements sont des plus hypothétiques, et la courbe qui, sur toutes les cartes, relie les fermes de Middelvlei, Randfontein et Luipaardsvlei, est encore bien mal déterminée : rien ne prouve notamment que le reef reconnu en quelques points de Randfontein appartienne réellement à la série du Main-Reef ; les travaux de mines réellement développés ne commencent guère qu'aux West Rand Mines dans la George and May, puis s'interrompent jusqu'au Champ d'Or, après lequel une grande faille rejette les reefs très au sud vers Princess Estate et Durban Roodeport, où l'on entre réellement dans la zone continue du Rand. Nous laisserons donc de côté provisoirement toute cette extrémité ouest, dont nous dirons seulement un mot plus tard quand nous étudierons les reefs de Buffelsdorn, qui en forment peut-être l'extrémité, et nous débuterons dans notre description par la mine du Rand, la plus occidentale que nous ayons visitée, et la seule, du reste, qui ait encore donné cette preuve essentielle d'existence rationnelle et continue, qu'on appelle un dividende : par le Champ d'Or.

Là même, l'assimilation des reefs exploités avec ceux de la série du Main-Reef est encore douteuse ; et, si nous n'y étions amené par l'ordre géographique, l'exemple serait mal choisi pour commencer (*) : on peut notamment

(*) Nous avons déjà eu l'occasion de donner (page 34) la coupe générale des reefs de la partie centrale du Rand. On pourra s'y reporter.

objecter à cette assimilation que les reefs du Champ d'or sont très voisins de la série dite de Kimberley, tandis que, dans le centre du Rand, ils en sont très éloignés ; mais, comme nous l'avons dit plus haut, nous croyons que le faisceau des reefs, très resserré à l'ouest, va en s'éparpillant et se subdivisant de plus en plus de l'ouest à l'est, de sorte que cette objection ne nous paraît pas avoir une grande importance.

Au **Champ d'Or**, on exploite deux reefs : le North reef, qui paraît être en réalité le Main-Reef de la région centrale du Rand (peut-être avec son leader) et le South reef. Les reefs sont, dans cette région, ainsi que nous venons de le remarquer, très rapprochés les uns des autres, et, par suite, très nombreux sur un petit espace. Leur série complète commence au nord par un reef peu exploité (sauf lorsqu'il se rapproche assez du Main-Reef pour être pris en même temps). C'est une veine mince à gros galets de $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur, ayant des parties riches et d'autres sans valeur. L'intervalle qui la sépare du Main-Reef atteint souvent 1 mètre. Dans les chantiers du quatrième et, du cinquième niveau ouest, le Main-Reef se rapproche de ce reef du nord, et s'atrophie jusqu'à disparaître complètement ; on n'a plus alors que ce reef du nord.

Puis vient le Main-Reef (portant le nom local de North reef) : un banc de conglomérats de $0^m,75$ d'épaisseur moyenne, allant par endroits à $2^m,50$, dans d'autres cas, au contraire, s'amincissant beaucoup ; il a un aspect que nous retrouverons partout dans le Rand pour le reef du même nom : une masse de galets quartzeux gros comme des noix (dont quelques-uns de quartz enfumé, ou de quartzite d'un noir mat), assez ronds et régulièrement répartis dans toute la masse.

---

comme point de comparaison, pour les premières descriptions qui vont suivre.

Le Main-Reef est séparé par 7 mètres de quartzite d'un autre reef, qu'on a parfois voulu considérer comme le Main-Reef Leader, ce qui paraît peu vraisemblable, étant donné cet intervalle de 7 mètres, beaucoup plus considérable que dans le centre du Rand, alors que les distances semblent toutes être réduites ici ; ce reef, si l'on tient à une assimilation qui est forcément bien hypothétique, serait plutôt le South reef.

C'est un mince banc de 3 à 5 centimètres d'épaisseur qui, suivant la loi générale du Rand, est d'autant plus riche qu'il est plus mince, et aussi qu'il contient plus de galets.

A sa base, il paraît s'être produit un laminage, auquel on doit sans doute l'existence de quartzites rendus schisteux, sur la partie supérieure desquels il s'est parfois déposé un enduit d'or visible secondaire. C'est un des faits sur lesquels on pourrait s'appuyer pour rapprocher ce reef du Main-Reef Leader, à la base duquel on voit souvent quelque chose de semblable ; mais il faut remarquer que, dans cette mine, de semblables lits schisteux et micacés se présentent à divers niveaux.

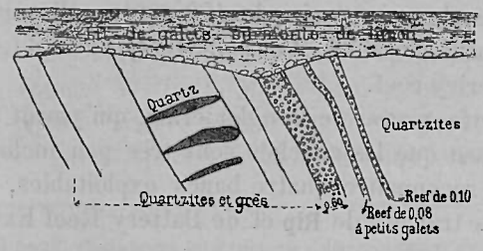


FIG. 3.
Coupe verticale superficielle du Main Reef au French Rand.

Au contact immédiat du Champ d'Or, dans le **French Rand**, à l'ancienne mine de Teutonia, une bonne tranchée permet d'étudier le même Main-Reef à l'affleurement.

Comme le montre la figure 3, on a, à la base, des bancs de

quartzites avec beaucoup de délits micacés, dont l'un est remarquable par trois veines de sécrétion de quartz blanc formant des lentilles perpendiculaires à la stratification et nettement limitées à l'épaisseur d'un banc. Puis vient un reef d'une épaisseur de $0^m,50$ à 1 mètre, avec plusieurs veines connexes presque contiguës au toit, reef qui se prolonge sur la concession de Greys Mynpacht, et joue ici le rôle du Main-Reef proprement dit.

L'inclinaison est, là, de 60° à l'affleurement et de 45° lorsqu'on s'enfonce dans les travaux du Champ d'Or deep (une des mines dont le groupement avec la Teutonia a constitué récemment le French Rand).

Le South reef du Champ d'Or existe également sur la concession du French Rand et, à 20 mètres environ de celui-ci, se trouve un autre reef inexploitable, tenant seulement des traces d'or sur $0^m,20$ d'épaisseur.

Puis, après un intervalle de 1.500 mètres suivant l'horizontale (ce qui correspond peut-être à 5 ou 600, suivant l'épaisseur, car les bancs de ce côté s'aplatissent de plus en plus), on trouve, au sud, une masse considérable de bancs de conglomérats accumulés, occupant, avec quelques intervalles de grès, près de 100 mètres d'épaisseur et constituant les séries de Treasury reef, Bird reef, Battery ou Kimberley reef.

Sur cette masse de conglomérats, qui paraît d'autant plus épaisse que les couches sont très peu inclinées (*), on a cru reconnaître quatre bancs exploitables, qui ont motivé les travaux de Rip et de Battery Reef Extension :

A. Treasury reef.... — 2 mètres en moyenne
B. id. .... — $3^m,30$
C. Bird reef....., — 15 mètres (sans valeur)
D. Battery reef..... — $2^m,60$

(*) Il résulte même, de la presque horizontalité des couches, que leur direction et le sens de leur plongement semblent, en certains points, très différents de ceux des couches plus redressées du Champ d'Or.

Parmi ces reefs, l'un, le Bird reef, est formé de petits galets gros comme des œufs d'oiseau (d'où son nom) ; c'est un reef très caractéristique et que l'on retrouve, toujours semblable, d'un bout à l'autre du Rand, jusqu'à Modderfontein (à l'extrémité est).

Les autres (et notamment le Battery reef, qui est le plus riche) sont, au contraire, formés de galets, parfois tellement gros qu'il ne reste plus de place entre eux pour le ciment aurifère (*). Il est remarquable que, dans ces reefs à galets énormes (jusqu'à 10 centimètres de diamètre), comme le reef de la vallée de Geldenhuis au nord du Main-Reef, ou celui-ci au sud, on trouve souvent des galets de quartzite blanc analogue à celui qui forme les épontes des conglomérats, tandis qu'il n'en existe pas dans les conglomérats aurifères de la série du Main-Reef.

Le Battery reef contient des délits micacés, dus sans doute au métamorphisme, nombreux et bien marqués (**). On a trouvé, dans cette épaisseur de conglomérats, des veines irrégulièrement disposées au milieu de la masse et fort difficiles à suivre, si ce n'est par tâtonnements, qui donnent localement aux essais de bonnes teneurs en or. Les tentatives d'exploitation, qui sont faites en ce moment sur cette série du Battery reef ou Kimberley reef, en quelques points du Rand, comme à Rip, à Marie-Louise, etc., pourront avoir un certain intérêt pour l'avenir du pays; car ces reefs à gros galets, qu'on a considérés jusqu'ici, à la suite

(*) Quand nous étudierons la structure minéralogique des minerais en détail, nous insisterons sur ce fait essentiel que l'or est toujours dans le ciment qui relie les galets entre eux, jamais dans ces galets mêmes.

(**) En des points assez nombreux du Rand (district d'Heidelberg, etc.), il s'est développé ainsi, évidemment par métamorphisme, du mica blanc secondaire assez abondant, dont on constate au microscope la présence relativement fréquente dans tous les minerais de la région (Voir notamment l'échantillon 1492-4 provenant de la Robinson, où un galet de quartz est ainsi enveloppé de mica.)

de divers essais infructueux, comme sans aucune valeur réelle, se prolongent sur de très grandes étendues.

On songe d'ailleurs à utiliser au Rip les conditions spéciales d'horizontalité du reef pour étudier un projet d'exploitation à ciel ouvert, et l'on va commencer un broyage à sec qui, avec ces minerais d'affleurement à gros galets très distincts de leur gangue, paraît, au moins comme principe, assez rationnel.

Dans ce groupe du Champ d'Or, du French Rand et de Rip, il existe d'assez nombreuses failles transversales N.-E., parfois accompagnées de dykes, et quelques accidents longitudinaux.

Au delà du French Rand et de Greys Mynpacht, on rencontre, dans les exploitations, comme nous l'avons dit déjà, une lacune importante, correspondant à peu près certainement à l'existence d'une grande faille qui rejette les couches vers le sud d'environ 4 kilomètres; après quoi l'on entre, avec la région de Roodeport, dans la grande zone d'affleurements à peu près continue, que nous allons pouvoir suivre désormais presque sans interruption, jusqu'à Bocksburg, et même jusqu'à Modderfontein.

Cette région de Roodeport comprend, comme mines en activité, de l'ouest à l'est, Princess Estate, Durban Roodeport, Roodeport United Main-Reef, Kimberley Roodeport et Vogelstruis (*). Laissant de côté Princess Estate et Kimberley Roodeport, que nous n'avons pas visitées, nous allons indiquer l'allure des terrains dans les autres mines.

Les deux Compagnies de **Durban Roodeport** et de **Roodeport United Main-Reef** sont très enchevêtrées l'une dans l'autre. Le long de l'affleurement, on a, de l'Ouest à l'Est: d'abord l'United M.-R. avec son bloc 3 et un bloc Evelyn (**); puis la Durban Roodeport avec son bloc 2; l'United avec ses blocs 1, 2 et Evelyn; enfin la Durban Roodeport avec un bloc 1.

(*) Il existe, en outre, la Roodeport central fondée en 1893 et la Durban Roodeport deep, qui n'en sont encore qu'à la période préparatoire.

(**) L'Evelyn est une concession autrefois distincte, qui a été englobée récemment dans l'United Main-Reef.

Dans tout ce district, le reef principal, et que l'on a presque exclusivement exploité jusqu'ici, est le South reef, qui se présente avec des caractères très particuliers, sous forme d'une veine extrêmement mince, mais aussi fort riche; en même temps, le gisement est souvent d'une plateur extrême, parfois presque horizontal. Le Main-Reef n'a commencé à être exploité que tout à fait dans ces derniers temps.

La coupe complète présente à Durban Roodeport (de bas en haut) :

Main-Reef	1m,60 à 2m,30
Bancs de grès quartzite avec plusieurs petits bancs de conglomérat sans valeur	30 à 50 mètres.
South reef	0,05 à 0,15
Quartzite stérile	4 à 25 mètres.
Conglomérat pauvre inexploité	0,10 à 0,30

Commençons par le mur du gisement, c'est-à-dire par le *Main-Reef* et suivons-le d'un bout à l'autre de ce groupe d'exploitation.

A l'ouest, dans le bloc n° 3 de l'United, ce banc n'a été atteint qu'au septième niveau et on l'a exploité seulement depuis le début de 1893. Il a, là, environ 1m,20 d'épaisseur, y compris un banc de grès stérile au milieu. C'est un poudingue à gros galets réguliers où, par un fait très exceptionnel dans le Main-Reef, nous avons pu constater la présence d'énormes galets de quartzite blanc (*). D'après un essai qui a été fait sur 20.000 tonnes de ce minerai, le rendement en or serait de 9 grammes sur les plaques d'amalgamation, 12 à 14 en tout (**).

(*) Échantillon 1454-10.

(**) On sait que, pour extraire l'or des minerais du Witwatersrand, on commence par les broyer sous des pilons et les faire passer sur des

Dans le bloc n° 2 de Durban, le Main-Reef a été seulement reconnu par un court traçage au sixième niveau. Dans les blocs 2 et 1 de l'United, il n'a même pas encore été recoupé. Mais, dans le bloc 1 de Durban Roodeport (dont le bloc 1 de l'United est, en partie, le deep level), le Main-Reef devient, au contraire, très riche, et est l'élément principal de l'exploitation.

Ce Main-Reef, dont la pente est, là, beaucoup plus forte que dans l'ouest (jusqu'à 45°), présente une épaisseur de 1m,60 à 2m,30, très homogène, sans grès intermédiaire, avec de gros galets ronds ayant parfois 2 à 3 centimètres de diamètre. Contrairement à ce que nous verrons un peu plus loin, à Vogelstruis, la partie la plus riche est à la base. Le Main-Reef présente, dans ce quartier de la mine, de nombreuses et grosses veines de quartz stérile qui semblent coupées au mur. La teneur pratique est de 13 grammes aux plaques, et 5 à la cyanuration, soit 18 en tout.

Enfin, à Vogelstruis, les travaux sérieux ne datent que d'un an; l'affleurement du Main-Reef est reconnu sur une grande longueur; le reef a 1m,20 à 1m,50; il est assez homogène et à gros galets, avec une veine particulièrement riche au toit, veine de 0m,15, parfois séparée du reste par un peu de grès et jouant en conséquence le rôle du Main-Reef Leader dans le centre du Rand. On annonce, d'après les essais, un rendement total de 12 à 15 grammes.

Du Main-Reef au South reef, la distance horizontale

plaques de cuivre amalgamé qui retiennent une certaine proportion de l'or : le reste (résidus ou tailings), après ou sans concentration, est traité par le cyanure de potassium qui dissout une certaine proportion de l'or restant. En moyenne, l'amalgamation retire 64 p. 100 de l'or contenu dans le minerai ; c'est ce qu'on appelle le rendement aux plaques (ou mill yield); la cyanuration, en extrait, de plus, 20 p. 100 et, jusqu'ici, on n'arrive pas encore à obtenir le reste.

est de 40 mètres dans le bloc ouest de l'United, de 55 mètres dans le bloc 2 de Durban.

Le *South reef* présente, dans cette région, des caractères assez constants d'une mine à l'autre.

Il est, presque toujours, extrêmement mince : 0m,04 à 0m,06 d'épaisseur (bien que, dans l'exploitation, on soit amené à prendre au moins 0m,70), et arrive parfois à former un simple cordon de galets, ce qui est considéré comme un indice de richesse. On admet généralement qu'il est d'autant plus pauvre (même comme teneur absolue) qu'il s'élargit davantage. D'autre part, on préfère les points où le cordon des galets du South reef est nettement distinct des grès encaissants (qui sont les mêmes au toit et au mur), plutôt que ceux où il semble se fondre progressivement avec eux. On regarde enfin comme un bon indice la présence d'un joint savonneux avec taches de rouille sous le reef. En ce qui concerne les taches de rouille, l'explication en est bien simple, puisqu'elles correspondent à l'abondance des pyrites, qui elles-mêmes englobent l'or ; quant au joint savonneux, qui joue le rôle d'une salbande et résulte sans doute d'une friction mécanique, son action enrichissante, si elle est réelle, peut être du même ordre que celle que nous attribuerons au contact d'une couche schisteuse, c'est-à-dire correspondre à un plan naturel de circulation des eaux.

La minceur du reef et l'existence à son mur d'une série de petits reefs analogues, mais pauvres, entrainent des confusions fréquentes dans les travaux. Ce minerai est tellement difficile à reconnaître dans la mine de la roche encaissante que l'on est amené à sortir au dehors, pour la trier seulement à la clarté du jour, toute la roche abattue sur 0m,70 de haut dans les chantiers.

La coupe du South reef est, par exemple, la suivante, de haut en bas, au cinquième niveau est du bloc 2 de Durban Roodeport, c'est-à-dire dans l'ouest de l'ensemble

de concessions que nous étudions :

Délit schisteux micacé non constant.	
Grès.....	$0^m,60$
Lit à galets aplatis se fondant avec le grès du dessus, tenant parfois jusqu'à 300 gr. d'or à la tonne sur 3 à 4 cent. d'épaisseur.....	$0^m,04$
Banc de grès tenant parfois un peu d'or	$0^m,05$ à $0^m,20$
Joint argileux discontinu.	

Dans quelques cas, les galets, qui définissent le South reef, au lieu de se localiser en un simple cordon, se disséminent sur $0^m,10$ à $0^m,12$ d'épaisseur (tout l'or étant en bas); ailleurs encore on a, au-dessus du reef riche, un lit de conglomérat semblable, mais pauvre, de $0^m,08$ d'épaisseur, séparé par $0^m,10$ de grès du lit riche.

On trouve, en certains points de la mine, notamment au septième niveau ouest, des veines de quartz à éponte micacée, qu'il faut sans doute considérer comme des veines de sécrétion.

Plus à l'Est, dans la mine Est de l'United Main-Reef (blocs 1 et 2), on exploite également comme South reef, sur $0^m,60$ à $0^m,80$ de haut, un grès avec quelques galets disséminés, à la base duquel se trouve un lit mince de conglomérat (footwall leader) à petits galets de 2 à 3 centimètres très rapprochés, sans beaucoup de pyrite. La plus grande partie du grès passe avec le conglomérat aux pilons; car elle contient aussi un peu d'or ; mais on estime que 70 p. 100 de l'or au moins viennent du conglomérat de la base.

On observe parfois, au toit de ce conglomérat, une veine quartzeux avec de la chlorite verte.

Il est à noter qu'à 3 mètres environ de part et d'autre de ce reef il existe deux autres reefs presque identiques d'aspect, mais pauvres, avec lesquels il est facile de le confondre. Peut-être ces trois reefs minces correspondent-ils aux trois veines dans lesquelles se divise habituellement, comme nous le verrons, le South reef

dans le centre du Rand et surtout dans l'est, par exemple à Modderfontein.

Quand on arrive vers l'est, au bloc 1 de Durban Roodeport, le South reef, en conservant les mêmes caractères, mais avec une certaine tendance à s'élargir, s'appauvrit.

Enfin, à Vogelstruis, le South reef repose, comme à Durban Roodeport, sur un délit argileux, véritable salbande, au-dessus de laquelle est le cordon de galets (d'autant plus riche qu'il est plus mince et les galets plus gros), qui parfois disparaît, tandis que ce délit subsiste comme fil conducteur.

Quelques chiffres donneront une idée de la façon dont la pente des couches varie dans le groupe de concessions que nous venons d'examiner.

Dans le bloc ouest de l'United, la pente est ordinairement de 25°, sans vraie plateur de ce côté, mais très accidentée et coupée par de petites failles.

Dans le bloc 2 de Durban, la pente est de 21° à l'ouest, de 33° à l'est, avec des plateurs absolues et des gondolements.

Dans le bloc est de l'United, de même, le reef affecte la forme d'une surface gondolée presque horizontale avec des sortes de vagues et parfois de brisures, arrivant par endroits à une inclinaison de 30°, et ailleurs descendant à zéro.

Le bloc est de Durban Roodeport présente une inclinaison assez forte, d'environ 45°, avec une certaine complication de failles dans l'ouest.

Plus à l'est, sur la concession Vogelstruis, la pente est, à l'ouest, à l'affleurement, de 70° sur l'horizontale; au centre, elle se réduit à 45° jusqu'à 100 mètres de profondeur, où elle tombe à environ 30° (plus faible qu'à Durban Roodeport); enfin, vers l'est, elle continue à s'aplatir. La région de Kimberley Roodeport est assez

fortement faillée ; vers Vogelstruis, la régularité paraît, au contraire, assez grande, sauf un gros dyke et quelques petites failles à l'est.

Au delà de Vogelstruis, la série du Main-Reef se continue par Bantjes, Aurora, Main-Reef, Nabob, Anglo-Tharsis, Langlaagte Star, Crœsus, Langlaagte Block B, United Langlaagte, Paarl Central, Langlaagte Royal, jusqu'à Langlaagte Etate, en traversant une zone que tous les travaux faits jusqu'ici ont conduit à considérer comme pauvre et où, par suite, des exploitations restreintes, telles qu'on les a organisées dans les premiers temps de l'industrie du Transvaal, n'ont donné que de très médiocres résultats. Les seules chances éventuelles de succès avec les minerais pauvres sont, en effet, dans une exploitation intensive faite sur de grandes étendues avec de fortes batteries et des frais généraux réduits. Les mines que nous avons visitées dans cette zone sont celles de Main-Reef, Crœsus et Langlaagte Royal.

D'une façon générale, on peut dire que, dans cette région, le Main-Reef et le Main-Reef Leader paraissent à peu près inexploitables ; seul le South Reef peut donner certains résultats.

Si l'on commence par l'Ouest. la concession de **Main-Reef** est divisée en deux parties : l'une à l'Ouest, sur laquelle portent des travaux peu fructueux ; l'autre, à l'Est, où le South Reef était plus riche, mais s'est trouvé rejeté en profondeur par tout un système de failles N.-E.

Sur la **New Crœsus**, où les travaux ont pris récemment un grand développement, en même temps qu'on installait une batterie considérable (60 pilons prêts, 60 devant fonctionner en mars 1896), on peut mieux étudier le caractère des reefs, et nous avons été très frappé, le hasard nous ayant conduit le même jour dans cette mine et dans une autre située à l'autre extrémité du Rand, la Henry Nourse, de voir combien, richesse à part, les caractères minéralogiques étaient comparables dans les deux mines : ce qui est conforme avec l'idée émise plus haut, qu'il ést peut-être possible de suivre le faisceau des couches d'un bout à l'autre du Rand.

A la New Crœsus, la série des reefs comprend, du nord au sud : Main-Reef et Main-Reef Leader juxtaposés, comme cela leur arrive souvent ; Middle Reef sans valeur à 5 mètres du Main-Reef et South Reef. La pente moyenne est, dans les niveaux supérieurs, de 39°.

Le Main-Reef, formé, comme toujours, de galets assez réguliers, gros comme des noix, a de $1^m,50$ à $2^m,50$ d'épaisseur, y compris quelques bancs de grès intercalés et est séparé seulement du Main-Reef Leader par un très mince joint gréseux de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur, qui parfois disparaît ; ce leader, à galets plus gros et plus irréguliers, a lui-même une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,30$. La teneur des Main-Reef et Main-Reef Leader confondus est très variable ; sur de longues zones, la teneur aux essais est de moins de 9 grammes, et, par suite, le minerai est inexploitable ; mais il y a également des massifs où elle se maintient à 23 grammes. La partie riche se trouve souvent au mur.

Le South Reef se divise volontiers en trois veines réparties sur 1 mètre de large, en sorte qu'on abat le tout pour faire seulement à la surface un triage sommaire.

La veine du toit, ou Main Body, a environ $0^m,25$ d'épaisseur, parfois $0^m,30$ à $0^m,50$.

La veine du milieu est presque toujours pauvre.

Enfin la veine riche est celle du bas, qui a une épaisseur de $0^m,02$ à $0^m,18$. Ce dernier leader ne contient parfois que de très rares galets et tend à se confondre alors avec les grès encaissants, comme cela arrive également à l'extrémité est du Rand, à Modderfontein. Il est d'une teinte particulièrement foncée et contient souvent des galets de quartzite fin d'un noir mat fréquemment anguleux.

La teneur y est extrêmement irrégulière ; elle peut s'élever à 300 grammes sur une épaisseur de 0m,07 à 0m,12, et il arrive qu'on y constate la présence de l'or visible ; mais, en moyenne, la teneur des minerais de la Crœsus est assez pauvre et ne doit pas dépasser, comme rendement industriel, 12 à 14 grammes.

Les couches, dans cette mine, sont généralement régulières et peu disloquées ; il existe toutefois, dans l'est, un gros dyke de porphyrite de 25 à 30 mètres de large, ne rejetant pas les couches, avec un petit dyke qui s'en détache latéralement à l'ouest.

A **Langlaagte Royal**, les reefs sont les mêmes et également pauvres, mais, en outre, très disloqués. La pente est d'environ 42° dans les niveaux supérieurs. Le Main-Reef, avec Main-Reef Leader associé, a de 1 mètre à 5 mètres d'épaisseur ; dans les premiers niveaux, l'or s'y trouvait surtout au toit, dans le Leader, comme c'est l'habitude au centre du Rand ; dans les niveaux inférieurs, il se trouverait plutôt à la base. En raison de cette irrégularité dans la distribution de l'or, on est amené à faire, en chaque point, des essais pour déterminer où se trouve la partie la plus riche du reef et à prendre, sur cette partie, environ 1 mètre d'épaisseur, hauteur nécessaire pour les travaux.

Ce Main-Reef a tantôt son aspect habituel avec galets de même grosseur moyenne, régulièrement distribués ; tantôt, au contraire, les galets sont irréguliers, gros par endroits et assez disséminés. En le suivant, par exemple, au septième niveau ouest, on le trouvera, à un endroit, large de 0m,35 avec une même veine riche de teinte sombre à la base, un peu plus loin atteignant 2m,30 d'épaisseur, puis réduit à zéro.

Le South Reef se compose, en général, d'un mince lit de galets de 8 centimètres, correspondant à la veine du mur de la Crœsus et surmonté de quartzite noir, dans

lequel on retrouve un cordon discontinu (Stringer) de galets disséminés. Après avoir donné de bons résultats jusqu'au cinquième niveau, ce South Reef s'est fort appauvri et, le manque de travaux de traçage préalables n'ayant pas permis d'augmenter sa teneur par mélange avec des minerais riches provenant d'autres chantiers, on a dû arrêter la batterie.

Après la Langlaagte Estate, nous entrons dans la zone riche du centre du Rand : Crown reef, Johannesburg Pioneer et Bonanza, Robinson, Worcester, Ferreira, Wemmer, Salisbury, Jubilee, Village Main-Reef, City and Suburban, Meyer and Charlton, Wolhuter, Spes-Bona, George Goch et Metropolitan, Henry Nourse, New Heriot, Jumpers, Treasury, Geldenhuis Estate, Simmer and Jack, etc. Nous avons visité toutes ces mines, à l'exception de la Worcester, de la Meyer and Charlton, de la Spes-Bona et de la Treasury qui, encadrées entre des mines bien connues, n'auraient rien eu de plus à nous apprendre sur l'allure générale des gisements, et nous allons les décrire de l'ouest à l'est, dans l'ordre où nous venons de les énumérer, en passant parfois rapidement sur certaines des plus fameuses, Crown reef, Robinson, Ferreira, etc., que tous les visiteurs successifs s'accordent généralement à décrire et qui, par suite, ont déjà été ailleurs suffisamment étudiées.

A la **Crown Reef**, le Main-Reef, d'une épaisseur de 3 à 4 mètres, est encore, comme à Langlaagte, contigu au Main-Reef Leader, qui parfois n'en est même pas séparé par un nerf de grès; mais, au point de vue industriel et pratique, on l'en distingue soigneusement ; car ce leader, qui peut avoir environ 0m,40 d'épaisseur, tient 30 grammes d'or aux essais, tandis que le Main-Reef, dans les nombreux points où l'on a atteint, semble si pauvre (6 à 7 grammes en général) qu'on ne l'exploite presque jamais.

Entre le Main-Reef et le South Reef, un Middle Reef, donnant 5 à 6 grammes, est inexploité.

Le South Reef, séparé du Main-Reef Leader par 30 mètres de quartzite, est divisé en plusieurs cordons de galets, remarquables par leur aplatissement et répartis sur une hauteur totale de 2 mètres. La partie la plus riche est, comme toujours, à la base. Par un phénomène que nous retrouverons fréquemment, il existe, au mur de ce reef, sur 60 mètres de long, une veine de quartz de $0^m,15$ de large.

Au point de vue de l'allure des couches, cette mine présente deux faits très caractéristiques : un grand dyke longitudinal, comme nous en rencontrerons plusieurs autres exemples dans le Rand (Ferreira, East Rand, etc.), traversé par les travaux au cinquième niveau, et un bloc central compris entre deux failles, rabaissé par rapport au reste.

Les caractères des reefs semblent en partie se prolonger, au sud, sur la **Crown Deep**, où ils participent peut-être également en partie de ceux que nous trouverons plus loin dans la Robinson.

A la **Bonanza** (mine toute nouvelle, commencée seulement en mai 1894), le Main-Reef, dont l'épaisseur va de $0^m,60$ à 5 mètres — souvent avec banc de grès intermédiaire — ne paraît, comme dans la plupart des mines, exploitable que par tronçons. Il n'est quelquefois qu'à $0^m,70$ du Main-Reef Leader, dont ailleurs il s'éloigne à $1^m,50$.

Le Main-Reef Leader, encore peu mis à découvert par les traçages, est parfois très riche : ainsi, au troisième niveau ouest, 45 grammes sur 1 mètre d'épaisseur.

Entre le Main-Reef Leader et le South reef, qui constitue la principale richesse de la mine, la distance est d'environ 50 mètres. On attribue à ce dernier banc de conglomérat une épaisseur de $1^m,20$, mais en y comprenant, en réalité, des bancs de grès intermédiaires; ainsi, au troisième niveau, qui est de beaucoup le plus riche et, par suite, celui où les chantiers d'abatage ont été le plus activement poussés, on a :

Conglomérat	0,60
Grès	0,20
Conglomérat riche tenant 60 grammes d'or	0,06
Grès	0,10
Conglomérat aurifère à 10 grammes	0,06

Ce sont là, sans doute, les trois veines de conglomérat aurifère que nous retrouvons un peu partout dans le South reef. Par un phénomène beaucoup plus général qu'on ne le croit, mais intéressant à noter de temps à autre, on voit, sur un intervalle assez restreint, l'épaisseur des bancs de grès intermédiaires augmenter ou diminuer dans des proportions considérables ; il arrive aussi que, ces grès disparaissant presque, on ait un conglomérat aurifère sur près de $2^m,50$.

En outre de ces reefs utilisables on rencontre des reefs secondaires sans valeur, dits bastard reefs, au toit et au mur du South reef.

Les dykes et failles sont assez nombreux ici comme dans toute la partie centrale du Rand.

La **Robinson** est la mine du Rand la plus anciennement connue pour la richesse de ces minerais et, point intéressant, les niveaux les plus profonds, auxquels on est arrivé aujourd'hui, semblent avoir atteint une zone particulièrement riche ; ce dont il ne faudrait pas conclure, bien entendu, qu'il existe une loi d'enrichissement en profondeur, mais ce qui prouve, tout au moins, qu'il n'en existe pas une d'appauvrissement.

C'est une des mines où le Main-Reef est le plus activement exploité. On le prend généralement en même

temps que le Main-Reef leader, qui en est éloigné de 1 à 2 mètres. Au-dessous de ce Leader se trouve une salbande argileuse, séparée de lui par un peu de grès. Le Leader lui-même a jusqu'à 1m,20 d'épaisseur.

Le South reef a une largeur qui peut varier dans un même niveau (au huitième) de 0m,12 à 1m,20.

A la **Ferreira**, pendant longtemps, on n'a exploité uniquement que le South reef, couche la plus riche dans toute cette partie centrale ; mais, depuis quelque temps, on a attaqué activement le Main-Reef Leader et, peu à peu, on se met aussi au Main-Reef.

Le Main-Reef Leader et le Main-Reef, parfois séparés par un simple joint, le sont ailleurs par un intervalle stérile de 0m,30 à 0m,60.

Le South reef est formé de deux bancs de conglomérat, dont le plus riche est à la base, séparés par un grès qu'on avait toujours trié et rejeté comme stérile, jusqu'au jour assez récent où l'on s'est aperçu qu'il pouvait contenir parfois jusqu'à 25 grammes d'or.

Quand on étudie les variations des teneurs moyennes à divers niveaux, calculées d'après les résultats de l'exploitation en ces dernières années, on constate qu'elles n'obéissent à aucune loi ni d'appauvrissement ni d'enrichissement progressif en profondeur : notamment le 10e niveau du South reef a été jusqu'ici le plus riche de tous.

A la **Wemmer**, l'intervalle entre le Main-Reef Leader et le Main-Reef qui, en somme, était presque toujours insignifiant dans les mines situées plus à l'ouest, tend à s'accroître fortement ; le changement se produit assez brusquement suivant une grande faille située à l'est de la Ferreira.

On retrouve, d'ailleurs, dans les reefs, des variations d'épaisseur comparables : au huitième niveau ouest, le South reef passe, en quelques mètres, de 0m,03 (avec des

teneurs allant jusqu'à 3 kilogr. d'or à la tonne) à 1m,20.

Le Main-Reef de la Wemmer est généralement considéré comme pauvre et non payant (teneur aux essais : de 4 à 15 grammes).

Le Main-Reef Leader a souvent des masses de galets ronds, blancs laiteux, avec peu de pâte dans l'intervalle ; parfois aussi, il prend l'aspect du South reef, qui est caractérisé par ses quartz aplatis et comme laminés.

La coupe ci-dessous (*fig.* 4) montre la disposition du South reef au 8e niveau ouest et fait, en même temps, ressortir un fait intéressant sur lequel nous aurons à revenir : c'est l'existence, dans ces couches, de pyrite nettement stratifiée.

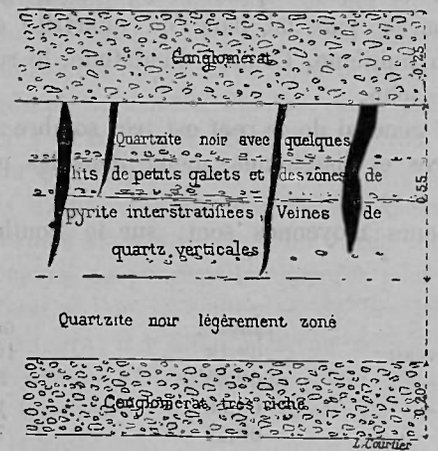


Fig. 4.

Coupe verticale du South reef au huitième niveau ouest, mine Wemmer (près d'un point où le reef présente de la pyrite nettement stratifiée).

Dans la **Salisbury**, le Main-Reef et son Leader sont, comme dans la Wemmer, séparés par un intervalle de quartzite qui atteint 18 à 20 mètres. Le Main-Reef, inexploité jusqu'ici, paraît avoir environ 1m,30 d'épaisseur avec du grès au milieu. Il est, au cinquième niveau, suivi par une longue veine de quartz de 0m,08 à 0m,10.

Le Main-Reef Leader donne, d'après les exploitants, les teneurs moyennes suivantes :

	Épaisseur.	Grammes.
3e niveau (*)	0m,25	87,90
4e —	0m,40	64,55
5e —	0m,21	81,80
6e —	0m,33	45,45

La distance du Main-Reef Leader au South reef est, au sixième niveau, de 25 mètres horizontalement.

Quant au South reef, il comprend généralement deux bonnes parties : l'une au mur, l'autre au toit, le foot-wall leader de 0m,30 d'épaisseur et le hanging leader de 0m,16, séparés par un banc de quartzite qui atteint 1 mètre au huitième. Comme d'habitude, le reef du mur est le plus riche.

L'aspect général de ce reef est très sombre : les galets y sont rares et disséminés, même dans les parties très riches.

Les teneurs moyennes sont, sur le South reef, les suivantes :

	Épaisseur.	Grammes.
3e niveau	0m,18	195,30
4e —	0m,30	56,25
5e —	0m,38	23,25
6e —	0m,52	76,15
7e —	0m,33	82,80
8e —	0m,61	42,30

On peut constater, sur ce tableau, dans quelle mesure est exacte la théorie suivant laquelle un reef est d'autant plus riche qu'il est plus étroit, et réciproquement : à l'épaisseur la plus faible, 0m,18, correspond, il est vrai, la teneur

(*) Les niveaux sont généralement distants de 30 mètres (100 pieds) suivant la pente du reef, soit 15 à 25 mètres suivant la verticale.

maxima 195gr,30 ; à la plus forte, 0m, 61, la teneur minima 42gr,30, mais la loi ne s'applique plus aux autres niveaux ; de même, dans le Main-Reef Leader, aux deux épaisseurs faibles 0m,21 et 0m,25 correspondent les fortes teneurs 81gr,80 et 87gr,90, sans qu'il faille chercher dans l'application une rigueur plus grande (*).

La pente des reefs est ici de 80° à la surface, 55° à 188 mètres de profondeur verticale, 42° à 283 mètres.

En passant de la Salisbury à la Jubilee, on traverse une faille importante ; aussitôt à l'est de cette faille, le Main-Reef et le Main-Reef Leader, qui s'étaient séparés jusqu'à 18 mètres l'un de l'autre sur la Wemmer et la Salisbury, se rejoignent de nouveau : ce qui constitue pour l'exploitation une circonstance favorable, puisque le Main-Reef peut alors être abattu avec beaucoup moins de frais.

Le Main-Reef a, dans la Jubilee, une épaisseur considérable de 4 à 5 mètres, parfois 8 mètres, avec une teneur faible qui n'est guère que de 7 à 9 grammes aux essais ; mais il ne faut pas s'imaginer que cette épaisseur totale est formée exclusivement d'un même banc de conglomérat, comme on pourrait le supposer pour toutes les mines du Rand si l'on se contentait de lire les rapports de leurs directeurs : il y a toujours, au milieu, des intercalations gréseuses et surtout un banc de grès, qui dépasse, en général, 0m,40 d'épaisseur. La partie la plus riche est à la base.

Le Main-Reef Leader qui, dans cette mine, est le plus riche, a en moyenne 1 mètre ; parfois, il est séparé en deux bancs de 0m,15 chacun, par un banc de quartzite de 0m,50 d'épaisseur.

A sa base se trouve un délit argileux, ou salbande, contenant une veinule de quartz.

(*) C'est ce qui ressort encore plus nettement de l'examen d'un plan d'essai, tel que celui reproduit sur la Planche VI.

Le South reef a une épaisseur de 0m,30 à 3 mètres, avec une teneur habituelle de 18 à 21 grammes, allant par endroits à 60 grammes.

La Village Main-Reef exploite le deep level des Compagnies de Wemmer, Salisbury, Jubilee, City and Suburban, et les reefs y ont, par suite, des caractères analogues.

On peut noter que le Main-Reef et le Main-Reef Leader y sont, comme à la Jubilee, généralement rapprochés l'un de l'autre.

Un autre fait intéressant, c'est l'existence, au mur du Main-Reef Leader, d'un mince délit argileux avec veinule de quartz intercalée, que nous venons déjà de rencontrer dans la même position à la Jubilee et qui, plus à l'est, se prolonge à la City and Suburban.

Un délit semblable, à la Wemmer, contient, dans la veinule de quartz en question, des traces de galène, blende et pyrite de cuivre ; c'est, d'ailleurs, généralement dans de semblables veines de sécrétion que l'on trouve au Witwatersrand, des substances métalliques en cristaux de dimensions un peu considérables.

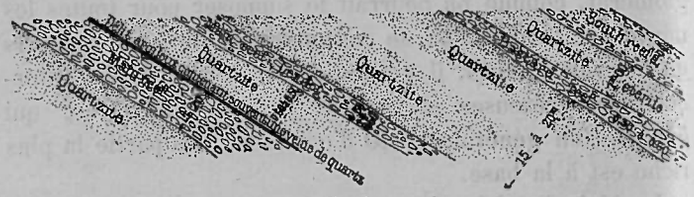


Fig. 5.
Coupe transversale au deuxième niveau Est de la Village-Main-Reef.

Nous donnons ci-joint (*fig.* 5) une coupe prise au deuxième niveau est ; mais, comme dans toutes les mines, les dimensions sont très variables d'un point à l'autre.

Le Bastard reef, qui figure sur cette coupe, est un reef à très petits galets, de 0m,30 à 0m,60 de large, qu'on retrouve dans la plupart des autres mines et qui est toujours inexploitable.

Quant au South reef, sa coupe au quatrième niveau ouest, très analogue à ce que nous avons vu à la Salisbury, est la suivante :

Banc à petits galets, peu riche.....	0m,25
Grès quartzite stérile.....	0 ,30
Conglomérat à gros galets blancs très riche (jusqu'à 600 grammes d'or à la tonne)...	0 ,08

Ce grès stérile intermédiaire renferme parfois un cordon de galets très disséminés, qui correspond à la troisième des veines, que nous avons rencontrées dans le South reef des mines de l'ouest ; il y apparaît, en même temps que les galets, un peu de pyrite et une certaine proportion d'or.

A la **City and Suburban**, le Main-Reef Leader prend une épaisseur que nous ne lui avons pas trouvée jusqu'ici, et devient, en même temps, plus pauvre. On peut le voir, au quatrième niveau ouest, formé, en réalité, de 2 à 3 mètres de quartzite avec des lits de galets tout à fait fondus dans la masse ; quelques mètres plus loin, il se réduit à un mètre ; en approchant du puits ouest, les galets s'accumulent dans un banc de 0m,70, galets très rapprochés, blanc laiteux, bleutés ou presque noirs.

Le Main-Reef Leader renferme souvent des délits ou veines d'argile schisteuse, qui doivent correspondre à des phénomènes de glissement mécanique ; le plus important se trouve au mur du Leader : c'est celui que nous avons déjà rencontré à la Jubilee et à la Village et qui contient, comme dans cette dernière mine, suivant son axe, une veine de quartz blanc de 0m,25 d'épaisseur, renfermant des sulfures cristallisés avec un peu d'or. Il n'est pas absolument continu, mais très fréquent.

La contiguité du Main-Reef et de son leader (tous les deux presque identiques d'aspect) donne ici des facilités spéciales pour prendre le Main-Reef, dont la teneur est

faible (9 grammes seulement en moyenne). Au sixième niveau, ce Main-Reef présente la coupe représentée par la figure 6 ci-dessous.

Le South reef, distant du Main-Reef Leader de 25 mètres (suivant l'horizontale), présente, comme toujours, des galets plus irréguliers, plus gros et souvent très aplatis. Son épaisseur peut aller de 0m,30 à 1 mètre; mais, quand il s'élargit, on voit généralement apparaître, au milieu, un banc de grès de 0m,80 environ, qui le divise en deux couches de conglomérats, dont la plus riche est celle du mur.

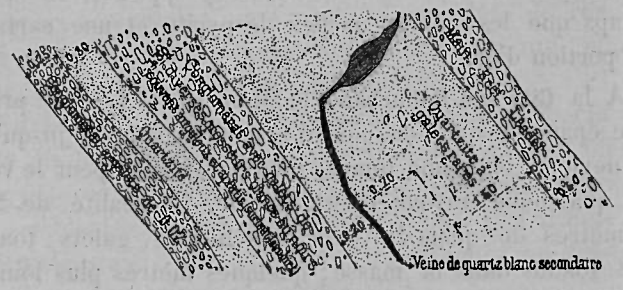


Fig. 6.
Coupe du Main-Reef et du Main-Reef Leader au sixième niveau de la City and Suburban.

Entre le Main-Reef Leader et le South reef, les travers-bancs recoupent toujours une série de petits conglomérats non exploitables, dont l'un, nommé middle reef (à très petits galets), contient assez fréquemment 6 grammes d'or.

A la **Wolhuter**, le Main-Reef, formé de plusieurs bancs de conglomérats voisins avec joints gréseux, n'est exploité qu'accessoirement, soit quand il est assez près du Main-Reef Leader pour pouvoir être pris en même temps sans frais de broyage spéciaux, soit quand sa partie inférieure se charge de gros galets et constitue alors un reef riche, qui porte le nom local de North reef. Ce North reef, dont on n'a reconnu l'existence que tout récemment et par hasard, se présente par exemple, au quatrième niveau

ouest, avec de gros galets de 3 à 4 centimètres et une teneur de 150 à 170 grammes.

Le Main-Reef Leader se réduit parfois à 0m,10, ailleurs à 0m,20; dans l'est de la mine, il est souvent tout à fait contigu au Main-Reef et séparé de lui par 0m,15 à 0m,20 de grès, sans délit argileux intermédiaire; pourtant cette salbande argileuse que nous avons signalée comme caractéristique à la City, à la Village et à la Jubilee, apparaît en quelques points. Mais, dans une grande partie de la mine, on rencontre, à la place où elle devait se trouver, c'est-à-dire entre le Main-Reef et son Leader, un grand dyke de forme très irrégulière, qui aura profité de la même dislocation mécanique pour s'introduire à cette place.

Le South reef, dans cette mine, est généralement très mince (entre 0m,03 et 0m,10) et très riche: ainsi, au cinquième niveau, l'avancement du mois d'avril a donné une épaisseur moyenne de 0m,06 avec 115 grammes d'or.

Comme dans la plupart des autres mines, on a, entre le Main-Reef et le South reef, plusieurs cordons de galets formant des reefs bâtards inexploités : l'un des plus caractérisés est à 0m,15 du mur du South reef, sous forme d'un grès à galets disséminés, tenant 2 à 3 grammes d'or; à 2 mètres au toit du même reef, un autre a une épaisseur de 0m,40 à 1 mètre.

A la **George Goch** et à la **Metropolitan**, on voit apparaître, à 10 ou 15 mètres au nord du Main-Reef, un nouveau reef, appelé North reef, qui joue par endroits un rôle important. Ce North reef, au troisième niveau ouest de la George Goch, est très épais et présente la coupe suivante:

Quartzite	0,10	1 mètre.
Conglomérat	0,10	
Quartzite	0,15	
Conglomérat	0,08	
Quartzite	0,30	
Lit de galets épais	0,03	

Le Main-Reef, et ce que l'on considère comme le Main-Reef Leader, sont ici tout à fait juxtaposés et identiques, en sorte que le prétendu North reef est peut-être le Main-Reef et le prétendu Main-Reef le Main-Reef Leader ; cependant il est à noter que le reef, qualifié de Main-Reef, présente bien la structure et, en même temps, la pauvreté habituelles.

Le South reef, beaucoup plus épais ici qu'à la Wolhuter et à la City, a de 1 à 2 mètres d'épaisseur ; il comprend fréquemment deux bancs de conglomérat (dont le plus riche au mur) avec $0^m,80$ de grès dans l'intervalle ; parfois il est assez confus ; d'autres fois, il a des veines de galets bien nettes ; on y retrouve un caractère assez habituel dans le South reef de la partie tout à fait centrale du Rand : la fréquence des galets aplatis ; d'autres sont plus arrondis, mais craquelés. C'est, comme toujours, le reef le plus riche.

Le peu de développement des travaux dans ces deux mines, qui viennent de se fusionner tout récemment pour pouvoir organiser leur exploitation plus en grand et l'existence de plusieurs rejets, dont l'un sépare les reefs de la Metropolitan de ceux de la Henri Nourse, rendent les assimilations difficiles et douteuses.

A la **Henri Nourse**, les couches deviennent presque verticales et prennent, par suite, une allure tout à fait spéciale.

Les reefs reconnus sont : le Main-Reef qu'on n'exploite pas, le Main-Reef Leader (qualifié de middle reef) et le South reef (à 8 mètres du Leader), qui est le plus riche des trois.

Le Main-Reef Leader est très irrégulier, de $0^m,03$ à $0^m,40$; on admet une moyenne de $0^m,30$. Il présente parfois un caractère assez spécial : les galets étant moins soudés à la pâte, faisant moins corps avec elle que dans le South reef, il arrive que, dans la cassure du conglomérat, au lieu d'avoir une surface plane comme cela arrive toujours pour le South reef, les galets non brisés restent en saillie sur la pâte, dont ils se sont détachés à la rupture.

Le South reef présente un aspect en quelque sorte laminé et schisteux, surtout quand il est mince comme au troisième niveau ouest ($0^m,15$ à $0^m,25$ d'épaisseur). Ailleurs, il s'élargit jusqu'à plus de $1^m,50$ et se divise en trois veines, comme nous l'avons déjà observé à l'ouest à la Bonanza et le retrouverons à l'est, à Modderfontein.

A la **Nourse deep**, qui, par suite de l'étroitesse de la concession d'Henri Nourse, est très voisine en plan de l'affleurement, mais, en raison de la verticalité des couches, ne les recoupe néanmoins qu'à une assez grande profondeur, les caractères sont assez analogues. Le seul reef bien exploré jusqu'ici est le Main-Reef Leader (middle reef), qui a de $0^m,08$ à 1 mètre, parfois avec division en plusieurs veines et est formé de galets blancs gros environ comme des noix.

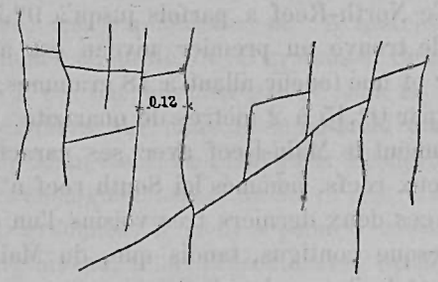


FIG. 7.

Réseau de veines de quartz secondaires dans une paroi verticale au mur du Main-Reef Leader (Nourse deep, puits 1. Niveau de 990 pieds Ouest). Echelle de $\frac{1}{20}$.

On remarque fréquemment à son mur (dans le quartier ouest du puits 1) des réseaux de veines de quartz, dont la figure 7 indique la disposition très régulière.

A la **New Heriot** (qui englobe aujourd'hui la Ruby), les couches restent, comme à la Henri Nourse, presque verticales à l'affleurement (environ 80°) ; en profondeur elles s'aplatissent à 45° ; on retrouve ici les difficultés d'assimilation des reefs que nous avons commencé à rencontrer depuis la George Goch et qui vont aller en s'accentuant vers l'est. Les reefs, par suite de leur verticalité même, sont extrêmement rapprochés dans les recoupes horizontales et, comme ils se bifurquent ou se croisent fréquemment, on a quelque peine à les suivre (d'autant plus que les études de ce genre paraissent avoir été peu soignées) (*). Un travers-bancs, fait au troisième niveau, a permis de constater l'existence de 10 reefs distincts, dont 3 ou 4 sont exploités (4 à l'ouest de ce niveau, mais peut-être simplement par suite du doublement de l'un d'eux).

Ces reefs, dont nous retrouverons la continuation dans l'est en arrivant à la Jumpers, sont, du nord au sud :

1° Un North reef, qui n'est peut-être qu'un branchement du Main-Reef et que l'on prend seulement par endroits. Ce North-Reef a parfois jusqu'à $9^m,50$ d'épaisseur ; on le trouve au premier niveau est avec $1^m,30$ d'épaisseur et une teneur allant à 18 grammes, séparé du Main-Reef par $0^m,15$ à 2 mètres de quartzite.

Puis viennent le Main-Reef avec ses caractères habituels, et deux reefs, nommés ici South reef n° 1 et South reef n° 2 : ces deux derniers très voisins l'un de l'autre, parfois presque contigus, tandis que, du Main-Reef au South reef n° 1, il y a plus de 2 mètres.

(*) Des coupes comme celles que nous reproduisons de la Simmer and Jack. (Pl. V) montrent combien, si l'on ne fait pas une étude attentive des couches, surtout dans les parties où quelque faille est venue les disloquer, on peut se tromper aisément dans les assimilations entre ces reefs qui se bifurquent, s'étranglent, s'élargissent et changent de caractères constamment.

Ce South reef est mince ($0^m,15$ à $0^m,30$) ; à sa base se trouve un joint argileux, qui tendrait à le faire assimiler au Main-Reef Leader avec sa salbande caractéristique au mur, si un semblable accident mécanique n'avait pu tout aussi bien se produire sous un autre reef ; d'autre part, il est possible que ce soit simplement une des branches du South reef, ce dernier étant généralement divisé, comme nous l'avons vu, en trois veines.

Le South reef 2 comprend : au toit, un banc de grès de $0^m,80$ avec galets laissé de côté, et, à la base, $0^m,15$ de conglomérat riche que l'on exploite.

A la **Jumpers**, on exploite le Main-Reef (appelé North reef), le Main-Reef Leader (appelé middle reef) et le South reef (appelé Main-Reef parce que, pendant longtemps, il a été à peu près le seul exploité). Cette remarque faite sur les noms locaux donnés aux couches, nous leur restituerons leurs noms habituels.

Le Main-Reef n'est riche que par tronçons ; cependant il l'est d'une façon beaucoup plus continue et plus forte que d'habitude et fournit, en comprenant le banc de grès intermédiaire, une exploitation sur 2 mètres à $2^m,50$ avec des teneurs allant de 9 à 30 grammes. Cette richesse correspond à ce fait que les galets sont là plus gros et moins réguliers que dans le Main-Reef ordinaire ; à 7 mètres du Main-Reef, le Main-Reef Leader, large de $0^m,15$ et très analogue d'aspect au South reef, a des teneurs allant à 300 grammes ; il vient à peine d'être découvert ; au cinquième niveau, il se présente avec de petits galets d'aspect chatoyants et des épontes nettes.

Enfin, à 7 mètres horizontalement du Main-Reef Leader, le South reef a 1 mètre à $1^m,30$ d'épaisseur avec des bancs de grès intermédiaires, des galets aplatis ou laminés, un aspect inhomogène qui l'identifient bien avec le South reef ordinaire. Au toit, ce reef passe à un quartzite noir à galets blancs espacés, qui occupe $0^m,10$ de haut et se

transforme à son tour en quartzite habituel. Au cinquième niveau (mine de l'Ouest), on peut constater, dans la couche que nous appelons South reef, les trois veines de conglomérats ordinaires de 0m,15 chacune, réparties sur 2m,10 de haut; ailleurs la veine centrale s'atrophie et n'est plus marquée que par un simple joint; on a alors en coupe:

Conglomérat	0,15
Quartzite	1 mètre
Conglomérat à gros galets	0,40

La coupe complète du terrain exploré est, du haut en bas :

South reef	Conglomérat	0m,15	1m,55
	Quartzite	0 ,60	
	Conglomérat	0 ,10	
	Quartzite	0 ,50	
	Conglomérat	0 ,20	
Quartzite stérile avec quelques cordons de galet			5 ,50
Main-Reef Leader (conglomérat à petits galets)			0 ,15
Quartzite stérile			6
Main-Reef (conglomérat à gros galets avec bancs de grès intercalés)			2 ,25
			15m,45

Cette mine est divisée en deux quartiers par un large dyke de 25 mètres d'épaisseur. A l'ouest, la pente est en moyenne de 32° et atteint même 70°; à l'est, au contraire, elle est très faible, environ 19° ; on entre, dès lors, dans la zone peu inclinée de Geldenhuis, Simmer and Jack, etc.

La teneur moyenne réalisée pratiquement sur l'ensemble des reefs est actuellement de 21 grammes, dont 12 à l'amalgamation.

Plus à l'est, le groupe des mines de **Geldenhuis** comprend Geldenhuis Estate, Stanhope, Geldenhuis Main-Reef et Geldenhuis deep.

Ce groupe est séparé de la Jumpers et de la Treasury par une grande faille d'environ 300 mètres, que les travaux n'ont pas encore franchie.

Les reefs de la Geldenhuis Estate portent les noms locaux de North Reef, Middle Reef et South Reef.

Le North Reef, qui se bifurque parfois, paraît représenter à lui seul le Main-Reef et le Main-Reef Leader; il est certain qu'on y trouve un banc schisteux, qui peut correspondre au délit argileux pseudo-schisteux si caractéristique au mur du Main-Reef Leader dans le centre du Rand. Ce North reef constitue la richesse principale de la mine et le seul reef dont il ait été tenu compte jusqu'ici dans les évaluations faites de son avenir.

Le Middle reef peut correspondre à celui que nous avons vu dans la même situation, à la City and Suburban, et qui existe également dans beaucoup d'autres mines, où nous n'avons pas noté sa présence, sa teneur étant presque toujours insuffisante pour motiver une exploitation; pourtant ici, il devient exploitable en quelques points.

Quant au South reef, contrairement à ce qui se passe, en général, pour son homonyme dans le Rand, il est considéré comme à la Geldenhuis Estate comme insignifiant.

Nous donnons ci-joint de haut en bas deux coupes du Main-Reef (North reef), l'une relevée par nous au troisième niveau ouest, l'autre admise par la Compagnie comme moyenne.

Coupe relevée au troisième niveau ouest :

Middle reef.		
Grès arkosique à grain grossier, souvent à teinte rouge, constituant une des red-bar, qui, à la surface, caractérisent l'affleurement de la série du Main-reef	10	mètres.
Quartzite à grain plus ou moins fin	3 à 10	—

	A et B. Quartzite, avec parfois mince cordon de galets, se fondant à la base avec le conglomérat du dessous et dont on est forcé d'abattre 0m,20 avec le reef, mais formant plus haut un toit très solide	0m,20
North reef	Conglomérat riche, parfois réduit à un simple cordon de galets (Main-Reef Leader?)	0,10 — 38 gr. d'or
	Joint schisteux	0,05 à 0,10
	Grès pastert	0,10 à 0,15
	E à H. Conglomérat, avec parfois quartzite intermédiaire (Main-reef)	1 à 3 mètres.

Coupe moyenne donnée par la Compagnie :

A. Conglomérat (stringer)	0,07	— 83 gr.
B. Quartzite	0,35	
C. Conglomérat (leader)	0,07	— 165 gr.
D. Quartzite	0,52	
— *Joint schisteux*		
E. Reef du Toit : conglomérat.	0,65	— 20 gr.
F. Quartzite	— 0,27	
G. Reef du Mur : conglomérat.	— 0,33	11,5
H. Leader du mur	— 0,50	

Dans cette coupe, les parties les plus riches sont le leader C et le stringer A.

Toutes ces épaisseurs sont très irrégulières et parfois se réduisent ou s'augmentent beaucoup.

Dans l'est, le joint schisteux entre D et E atteint parfois 0m,30 à 0m,40 et représente peut-être le début du banc de schiste important que nous trouverons sous le reef de Van Ryn et Modderfontein. Le banc de quartzite F devient, en même temps, assez large (4 à 5 mètres) pour qu'on soit forcé d'exploiter les deux conglomérats E et G séparément ; le banc E, qu'on appelle alors simplement North reef, a 2 mètres à 2m,30 ; enfin le leader (A, B, C) se sépare en trois bancs distincts répartis sur 0m,60 à 0m,80 d'épaisseur, et dont le supérieur est le plus riche (dans l'ouest, sur la coupe relevée par nous, quelques galets disséminés dans le grès marquent à peine le début de ces

conglomérats). Enfin la distance entre le leader C et le reef E atteint 3 mètres ; de ce côté est, il y a des parties tout à fait plates.

La teneur moyenne de la mine a été, jusqu'en mars 1892, de 29,80 grammes à l'amalgamation dans la zone oxydée ; puis elle est descendue peu à peu, tant par suite de la rencontre d'une zone pauvre que par suite de l'extension du broyage, à des minerais d'abord négligés. Actuellement, on obtient 8gr,65 aux plaques, 7gr,55 au cyanure, soit 16gr,20 (d'or fin).

La pente moyenne est de 62° à l'ouest, 40° à 45° au centre, 30° à l'est.

La mine est limitée à l'ouest par un dyke nord-est plongeant de 80° vers l'ouest, dyke qui rejette les couches de 300 mètres suivant l'horizontale. Elle comprend deux divisions : centrale à l'ouest et Stanhope à l'est (*). Dans la division centrale, deux failles ramènent également de 20 mètres au sud une section de 130 mètres de long.

Les faibles pentes que nous venons de trouver dans l'est de la Geldenhuis (et qu'on observe également sur la petite concession de Stanhope, dont la Geldenhuis Estate possède le deep level) se continuent dans l'ouest de la mine suivante, qui est la **Simmer and Jack**. Pour les épaisseurs, au contraire, on passe brusquement, après une petite faille, d'épaisseurs très fortes à des reefs très minces. Il y a là toute une grande zone où les couches sont d'une plateur extrême, parfois absolument horizontales, parfois même se relevant en sens inverse (c'est-à-dire plongeant localement au nord) comme au septième niveau près de la sixième descenderie (incline). De ce

(*) Précédemment il existait, en outre, à l'Ouest, au-delà de la grande faille, une division Percy, comprenant 9 claims 1/2, qui a été vendue à la concession voisine, la Treasury, en juin 1893, moyennant 3.500.000 fr., ce qui a permis de rembourser une dette d'environ 2.500.000 fr.

côté ouest de la concession, elles sont minces et riches. Puis vient une faille importante qui rejette les couches de 300 mètres au nord (c'est-à-dire détruit l'effet de celle que nous venons de trouver dans la Geldenhuis) et, au delà, les couches présentent une inclinaison qui, à la surface, atteint 60°. Un sondage fait très au sud (Victoria Borehole), qui a recoupé le reef à 717 mètres, prouve, jusqu'à cette profondeur, une pente moyenne à 40°. Les épaisseurs des couches, dans cette partie est, augmentent beaucoup, mais aux dépens de la richesse.

La coupe des reefs de la Simmer and Jack est la suivante de haut en bas, dans deux quartiers distincts de la concession; faute de pouvoir les assimiler d'une façon certaine à ceux du centre du Rand, nous leur laissons leurs noms locaux.

4e Niveau. — Quartier ouest.

Conglomérat, *dit South reef*, inexploité.		
Quartzite	50 mètres	
Conglomérat (*dit Main-Reef*) (South-reef ?)	0 ,20	
Quartzite passant progressivement au conglomérat	0m,50 à	5
Conglomérat (*Middle reef*) (assimilable au Main-Reef Leader?)	0 ,20	Lit riche donnant des essais locaux de plus d'un kilogr. d'or à la tonne
Joints argilo-schisteux (avec lignes de friction prouvant un déplacement longitudinal), surmonté d'une *veine de quartz*	0 ,10	
Quartzite	0 ,40	
Dyke longitudinal discontinu		
North reef pauvre (Main-reef?)	0 ,10	
Quartzite	plus de 50 mètres	

Travers-bancs du quartier est.

Conglomérat non payant	plus de	0m,80	Reef dit *Main-Reef*
Quartzite		0 ,20	
Conglomérat riche		0 ,60	
Quartzite		6 mètres	
Middle-Reef		1	(7 à 8 gr. d'or)

Veine de quartz	0m,10	
Quartzite	4	
Conglomérat	0 ,10	Reef dit *North-Reef*
Quartzite	0 ,25	
Conglomérat	0 ,15	
Quartzite	0 ,90	
Conglomérat plus riche	0 ,60	
Quartzite.		

Les reefs exploités à la Simmer and Jack sont, avant tout, le Middle reef, qui se présente, comme le Main-Reef Leader dans le centre du Rand, avec un lit d'argile schisteuse et une veine de quartz à son mur; puis quelquefois le Main-Reef, qui pourrait correspondre au South reef.

Le Middle reef prend, au neuvième niveau ouest, 2 mètres d'épaisseur, avec une teneur moyenne de 18 grammes; il a parfois, à sa base, un cordon de galets gros comme des œufs, qui est alors très riche. Il présente des galets très serrés, avec un caractère que nous avons précédemment signalé à la Henry Nourse dans le Main-Reef Leader : les galets, moins soudés à la pâte, restent en saillie sur la cassure.

Le reef appelé Main-Reef n'est payant que par endroits et offre alors une assez grande épaisseur, avec une teneur de 7 à 9 grammes sur les plaques d'amalgamation.

Quant au North reef, il a été rencontré au fond de la descenderie de l'Est (l'East incline), divisé en trois bancs (celui du milieu le plus riche); on y remarque là des galets de jaspe rouge.

Au point de vue de l'identification des reefs, on peut remarquer que, dans la partie centrale où les couches sont plates, un puits vertical a été poussé à plus de 50 mètres au-dessous du reef appelé North reef sans sortir des quartzites, ce qui concorde bien avec l'idée que ce North reef est le plus inférieur de la série, c'est-

à-dire le Main-Reef. La teneur moyenne à l'amalgamation est de 12,20 grammes ; 21 grammes en tout.

Sur la **New Primrose**, les mêmes caractères ne se poursuivent que dans l'est de la Simmer and Jack, couches épaisses et de teneur plutôt faible; on y obtient 13 grammes à l'amalgamation.

A la **Rose deep**, qui a le deep level, c'est-à-dire le prolongement en profondeur de la New Primrose, les travaux, encore peu développés, ont reconnu le North reef, le Middle reef (large de $0^m,50$ à $0^m,60$) avec galets assez petits et le South reef large de $0^m,60$ avec galets plus gros.

Puis viennent la May Consolidated, la Glencairn, la Glenluce, que nous n'avons pas visitées, et l'on arrive à une zone nouvelle, où l'existence d'épais dépôts superficiels avait longtemps empêché de reconnaître les couches aurifères, mais qui entre aujourd'hui en plein développement, celle de Witwatersrand (Knights), Balmoral, Ginsberg et East Rand (Driefontein, Angelo, Comet, Agnes Munro, Cinderella).

A **Witwatersrand** (anciennement Knights), les reefs, qui étaient fort peu inclinés dans l'est de la Geldenhuis et l'ouest de la Simmer, sur la convexité de leur courbure (voir la Pl. III), reprennent une pente très forte d'environ 60° sur sa concavité.

Il existe, dans cette région, des preuves nombreuses de mouvements du terrain postérieurs au dépôt, et notamment de glissements de couches les unes sur les autres, avec formations de salbandes argiloschisteuses, le long desquelles ont souvent cristallisé des veines de quartz de sécrétion; on rencontre également des intrusions de grands dykes longitudinaux, qui sont bien caractérisés dans la Witwatersrand et l'East Rand. Peut-être est-ce à un phénomène mécanique de ce genre ayant produit un doublement par pli de la série du Main-Reef qu'il faut attribuer l'apparition dans cette zone, au nord

de cette série, d'une série à peu près identique, bien que plus pauvre ; peut-être aussi y a-t-il réellement deux séries de reefs distinctes : c'est ce que nous aurons à examiner. Enfin, comme dernier fait d'intérêt général, nous noterons la présence, au-dessous du reef, d'un lit de schistes micacés (ou quartzites laminés), qui peut correspondre à celui que nous trouverons plus tard si développé dans l'Est vers Van Ryn et Modderfontein.

Indépendamment de toute hypothèse, la coupe des terrains est ici la suivante :

1° Le reef du nord a environ $0^m,80$ d'épaisseur moyenne; il est composé de galets gros au maximum comme des

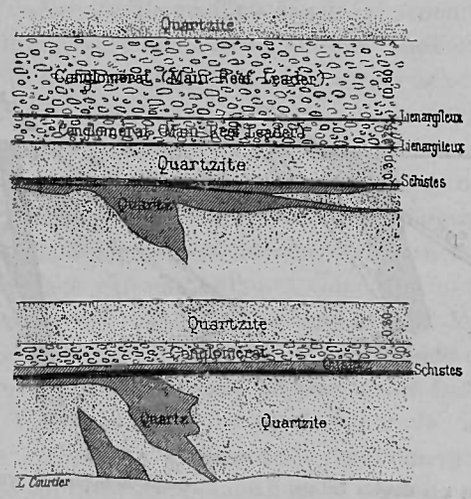


FIG. 8.
Front de taille d'une galerie suivant la direction de la couche à la Witwatersrand Mine.
Echelle de $\frac{1}{80}$.

noix, assez régulièrement répartis dans la masse et présentant tout à fait l'aspect connu du Main-Reef. A son toit se trouve un reef bâtard inutilisé, de $0^m,10$ à $0^m,12$

au plus, séparé de lui par une épaisseur variable de quartzite stérile. A sa partie supérieure, un banc de quartzite sépare ce reef d'un autre plus mince, et généralement plus riche, sous lequel il y a un lit schisteux. Cet ensemble pourrait correspondre au Main-Reef et au Main-Reef Leader confondus.

2° La coupe du reef du sud, situé à 50 mètres horizontalement plus au sud, est identique ; mais le schiste du mur, plus développé, renferme constamment une veine de quartz caractéristique, semblable à celle que nous avons vue si souvent apparaître au mur du Main-Reef Leader : ce quartz, avec cristaux de pyrite, lance souvent au mur des ramifications représentées par la figure 8 ci-contre.

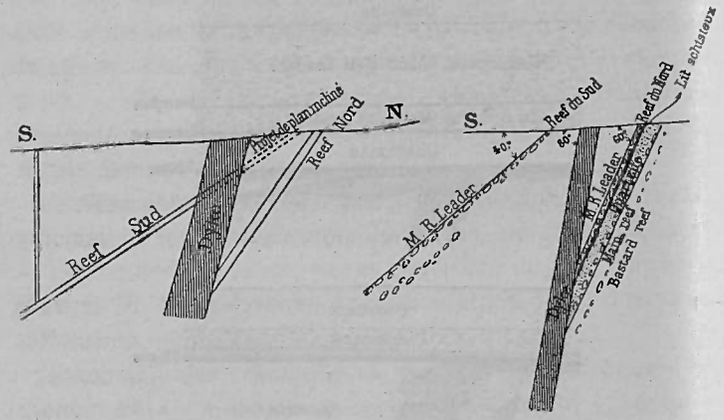


Fig. 9.

Coupe théorique à la Knights Tribute. Coupe théorique à la Witwatersrand Mine.

D'après M. Williams, directeur de la Witwatersrand, on retrouverait, plus à l'ouest, dans la mine de Knights Tribute, le prolongement de ces reefs avec un dyke qui les recoupe comme dans la figure 9 et empêche les reefs du sud d'affleurer au jour, en sorte que, dans ce cas, l'identité des deux reefs, simplement coupés et rejetés

par une faille suivant le dyke, lui semble très vraisemblable.

En allant de l'ouest à l'est, ces deux reefs s'écartent de plus en plus, et l'on perd la trace du Reef Nord ; puis le Reef Sud est recoupé par une faille qui le rejette au nord avant d'arriver à Balmoral.

Là, à la limite des deux concessions, se présente une dislocation assez compliquée, après laquelle le reef, que nous considérons comme le Main-Reef, reprend régulièrement sur **Balmoral** et la concession voisine de Gardner (aujourd'hui incorporée à Balmoral) ; au delà, il est également très bien reconnu sur toute la longueur de l'East-Rand.

A peu près à la hauteur de Balmoral, apparaît, plus au sud, une autre couche aurifère considérée comme le South reef du Rand, reef que l'on exploite à Ginsberg (c'est-à-dire sur le deep level de Balmoral) et qui se prolonge sur l'East-Rand.

Sur la Witwatersrand, le reef du nord a une pente de 60°, tandis que le reef du sud n'en a qu'une de 40° (*fig.* 9) : ce qui correspondrait bien avec l'idée que ce reef du sud est une partie profonde du reef du nord remontée vers la surface par une faille.

Le reef du sud, sur lequel portent surtout les travaux, a 1 mètre environ d'épaisseur et repose sur des quartzites ; assez pauvre au premier niveau pour avoir fait concevoir les plus fâcheuses opinions sur l'avenir de la mine, il s'est, au contraire, montré très riche au second.

Le reef du nord est généralement pauvre.

Les travaux de **Ginsberg** portent exclusivement sur **un** autre reef dont nous avons parlé plus haut, reef situé **à** 230 mètres horizontalement au sud du reef du sud de Witwatersrand et considéré comme le South reef. La pente est ici de 58° et dépasse, par endroits, 75°.

Ce reef est divisé en trois veines ; il est généralement

mince dans la section ouest de la mine, à l'ouest d'un dyke situé entre les puits 1 et 2 (0m,45); de l'autre côté, il passe à 1m,50. La teneur est assez forte; pratiquement elle atteint, paraît-il, 18 à 22 grammes, dont 11 à l'amalgamation.

Sur les Compagnies de l'East-Rand (*) (Driefontein, Angelo, New-Comet, Agnes Munro, Cinderella et New-Blue Sky), on peut suivre, presque d'un bout à l'autre, deux reefs qui sont: l'un, celui de Witwatersrand et Balmoral, le Main-Reef ou North reef; l'autre, celui de Ginsberg, le South-Reef.

Le North reef est reconnu sur près de 6 kilomètres de long et donne lieu à des travaux importants sur la New-Comet; le South-Reef, suivi de même par les travaux, mais dont on perdait la trace sous les terrains superficiels à l'est de New-Comet, a été, en septembre 1895, recoupé à 181 mètres de profondeur par un sondage dans l'angle de Cason-Black, près de Cinderella, en sorte que son prolongement d'un bout à l'autre de la propriété paraît également bien constaté aujourd'hui.

Si nous commençons comme d'habitude, par l'ouest, sur la New-Comet, le North reef, incliné à 47°, a souvent de grandes épaisseurs, jusqu'à 5 et 6 mètres, mais avec beaucoup de nerfs de grès intercalés et ressemble fort au Main-Reef du centre du Rand. Au niveau de 130 pieds est, la coupe est, par exemple, la suivante :

Conglomérat (très riche localement, à cet endroit), formant un niveau constant dans cette région.....	0m,15
Quartzite.....	0 ,60
Conglomérat.....	0 ,60

(*) L'East Rand est à la fois une Société minière et un Trust: c'est-à-dire que, pour mettre en valeur les diverses parties d'une propriété considérable, elle forme successivement des sociétés filiales, telles que la Comet, l'Angelo et la Driefontein, dans lesquelles elle conserve un rôle prédominant.

Les galets sont généralement assez petits, sauf parfois dans l'ouest à la base, et alors ce conglomérat de la base devient la partie riche, tandis qu'à l'est la richesse est au toit.

Le South-Reef est généralement recoupé, près de son affleurement, par un dyke longitudinal très épais, analogue à celui que nous avons rencontré sur le North reef à Witwatersrand, ou à celui qui existe au cinquième niveau de la Crown reef.

Ce South reef, sur Driefontein, a une pente de 60°, une épaisseur de 0m,60 à 1m,30 avec une zone de 0m,10 à 0m,40, très riche à la base.

Sur Angelo, il forme un gros filon ayant souvent plus d'un mètre d'épaisseur avec des galets disséminés régulièrement et ressemblant au Main-Reef dans le Rand; par moments, on a seulement des galets blancs espacés dans un quartzite noir.

Au-delà de l'East-Rand vers l'Est, il se présente, dans les affleurements des couches, une lacune considérable correspondant aux Apex mines et à Benoni jusqu'à Kleinfontein et Van Ryn. Là, en effet, comme sur l'East-Rand, la surface du sol est absolument masquée par d'épais dépôts d'argile, parfois aussi par des lambeaux du Karoo démantelés sous des actions d'érosions, qui ont dû laisser cette argile comme résidu; faute de sondages, on se trouve donc dans les conditions où l'on était sur l'East-Rand avant les derniers travaux qui ont permis de reconnaître les reefs; cependant, sur la Western Kleinfontein qui occupe une partie de la ferme Benoni, le North reef (de Kleinfontein et de Van Ryn) a, paraît-il, été découvert. On peut, d'ailleurs, en se guidant sur l'affleurement du Kimberley reef situé au sud du Main-Reef et toujours beaucoup plus facile à suivre, supposer l'existence d'une courbe reportant les couches vers le nord avec une direction N.-E. qu'elles conservent ensuite jusqu'à Modderfon-

tein et d'une faille produisant un rejet horizontal d'environ 1.500 mètres vers le sud-est.

Après quoi, on rentre dans une zone exploitée qui comprend Kleinfontein, Van Ryn, New-Chimes, Modderfontein et qui se prolonge par des travaux de prospection sur Modderfontein extension, Klippfontein et Amatola (*).

A **Kleinfontein**, on exploite deux reefs bien reconnus : le Main-Reef et, à son toit, un reef appelé localement South reef, mais qui doit être en réalité le Main-Reef Leader ; le véritable South-Reef correspond probablement au reef actuellement exploité à Modderfontein et Van Ryn, à l'est, comme dans l'East-Rand, à l'ouest, mais qui, sur Kleinfontein, n'a pas encore été utilisé.

Cette concession est la première où nous ayons à constater, dans tout son développement, un phénomène qui, à partir de là vers l'est comme plus au sud au Nigel et à Heidelberg, joue un rôle important : c'est l'existence de bancs de schistes au mur du Main-Reef (**). Nous avons bien, dans les descriptions précédentes, appelé l'attention à diverses reprises sur les liens argileux, parfois schisteux, qui existent souvent sous le Main-Reef Leader et qui se développent en particulier jusqu'à former de véritables schistes à la Witwatersrand ; mais, à partir d'ici, ce sont des couches épaisses et bien caractérisées de ces schistes que nous allons trouver.

La coupe à Kleinfontein est la suivante, de haut en bas :

(*) A l'ouest de Kleinfontein, il existe quelques travaux de prospection sur le Main-Reef dans Benoni, Western Kleinfontein et Chimes West.

(**) Ces schistes, où l'on trouve parfois un peu de magnétite ne seraient-ils pas ceux de Hospital-Hill étudiés plus haut, schistes compris entre la série du Main-Reef et le reef de Rietfontein, c'est-à-dire également au mur du Main-Reef, bien que séparés de lui dans le centre du Rand par une forte épaisseur de quartzites (??).

Main-Reef Leader	0m,60 à 1m,20
Joint schisteux	0m,02 à 0m,03
Quartzite stérile	2m,40
Main-Reef	1 mètre à 1m,30
Schistes chloriteux	10 à 15 mètres.

Le Main-Reef ressemble tout à fait à celui du centre du Rand ; il est très homogène, avec des galets réguliers gros comme des noix, dont quelques-uns de quartzite noir amorphe, et contient souvent un banc de quartzite au milieu ; sa teneur, sur 1 mètre d'épaisseur, est d'environ 12 grammes à l'amalgamation. Le Main-Reef Leader lui ressemble beaucoup, mais est généralement plus mince, avec une teneur aux essais de 26 grammes rapportés à 0m,90. Au début, c'est ici, comme autour de Johannesburg, le seul reef qu'on ait exploité.

La pente, à l'ouest de Kleinfontein, est de 30° ; au centre, elle arrive à 40°, et, quand on passe à l'est sur la concession de Van Ryn ouest, on arrive à 70°.

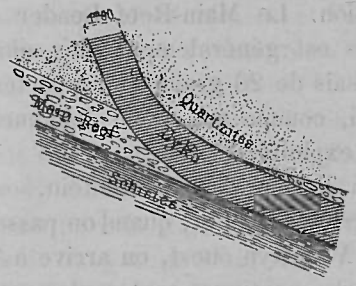
Les reefs, très continus, sont seulement recoupés par 3 dykes.

La teneur totale a été, en pratique, en 1894, de 17gr,30 par tonne (12,25 aux plaques, 4,90 à la cyanuration). En 1895, elle est tombée peu à peu à environ 14gr,30.

Plus loin, vers l'Est, sur les mines de Van Ryn Ouest, Van Ryn Est et Chimes, les reefs sont recoupés par un certain nombre de failles importantes, qui séparent des quartiers d'exploitation distincts (notamment Van Ryn Ouest et Van Ryn Est autrefois confondus), failles plus ou moins Nord-Sud, ayant pour effet de déprimer leur lèvre ouest. Mais le toit de schistes chloriteux régulier et continu au mur du Main-Reef est un jalon précieux pour suivre, malgré tout, facilement le reef d'un bout à l'autre.

Le Main-Reef, avec son leader, est la couche sur laquelle portent les principales exploitations de **Van Ryn** ; mais on

connaît également, à 160 mètres au sud, le South reef, exploité à Modderfontein, qu'il faut probablement identifier avec le reef de la New-Chimes. Plus au sud encore, est un reef non exploitable, mais très caractéristique et facile à suivre à la surface, le Bird reef (ainsi nommé parce qu'il est formé de petits galets gros comme des œufs d'oiseaux) et, au delà, un reef à gros galets, le Kimberley reef, tenant 3 à 4 grammes d'or environ par tonne, sur une veine duquel se trouve la mine Saint-Jean.



Coupe verticale ou 3e niveau de la Van Ryn, montrant l'intrusion d'un dyke entre le Main-Reef et les schistes sous-jacents.

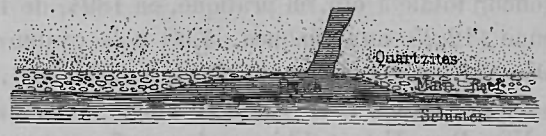


Fig. 10
Plan théorique au 3e niveau de la Van Ryn.

Le Main-Reef présente, à l'affleurement, une inclinaison de 70° dans l'ouest, de 60 à 40° dans l'est; en profondeur, il passe à 45°; son épaisseur, très variable, va de 0m,10 à 1m,50. Le Main-Reef Leader, situé à 3 mètres de distance et épais seulement de 0m,15, a donné par endroits des teneurs considérables jusqu'à 300 grammes d'or; mais il est assez irrégulier. Au mur du Main-Reef se trouve toujours une salbande argileuse. Les figures 10 montrent

l'intrusion d'un dyke entre ce Main Reef et les schistes sous-jacents.

Le South reef, que nous trouverons bientôt très riche dans l'ouest de Modderfontein et qui a donné également de bons résultats sur la Chimes, semble plus pauvre sur Van Ryn et Van Ryn Ouest, où les travaux ne l'ont encore que peu attaqué; il se compose, dans toute cette zone, d'une douzaine de veines de conglomérats intercalées entre des quartzites et dont on choisit empiriquement les meilleures. La partie exploitée comprend deux reefs principaux très minces (0m,05 à 0m,07), dont nous verrons bientôt l'équivalent à Modderfontein avec des caractères identiques: reef de grès grossier avec petits galets vitreux très disséminés, friables, ayant l'air d'avoir subi un laminage, et peu de pyrite; lignes de salbandes argileuses, passage progressif du reef le plus riche (middle reef) à un banc noir de quartzite très dur situé à son mur (bar ou coarsegrit), etc.

La coupe de ce South reef est la suivante ici :

Middle-Reef (reef riche).....	0m,06
Quartzite noir (bar ou coarsegrit).....	0 ,30
Footwall-reef.....	0 ,08
Quartzite blanc très distinct du noir avec un reef secondaire.....	

La teneur pratique est de 21 grammes, dont 13gr,50 à l'amalgamation.

La **New Chimes**, située au sud-est de Van Ryn, exploite un tronçon de reef limité entre deux failles, qui peut difficilement être considéré comme autre chose que le South reef ou reef de Modderfontein, rejeté par une dislocation. Le terrain est, de ce côté, très faillé, coupé de dykes, et le reef a subi des mouvements mécaniques qui l'amènent à être tout à fait vertical, comme à la New Heriot, et même, par endroits, renversé.

La coupe est ici la suivante de haut en bas :

1. Quartzite.	
2. Quartzite laminé ayant pris l'aspect d'un schiste talqueux	0m,06
3. Quartzite	0 ,33
4. Conglomérat riche	0 ,07
5. Quartzite noir avec galets disséminés	0m,60 à 0 ,90
6. Schistes	0 ,10
7. Quartzite blanc	0 ,25
8. Schistes	0 ,20
9. Quartzite	12 »
10. North leader (quartzite avec banc de conglomérat intercalé de 0m,20 d'épaisseur)	0m,60 à 0 ,90

On abat les couches de 2 à 7. Le quartzite noir n° 5 constitue, dans son ensemble, un minerai souvent fort riche, bien que, le plus souvent, il ne présente que des galets très disséminés : ce qui est contraire à la théorie générale suivant laquelle l'or ne serait abondant que dans les conglomérats proprement dits. Dans la couche 8, il s'intercale parfois, notamment au troisième niveau ouest, un reef à petits galets.

Quant au North leader qui, à Modderfontein, n'a jamais été trouvé exploitable, ici, il forme une des richesses principales de la mine et, si l'on considère seulement la veine de conglomérat qui y est intercalée, on y trouve des teneurs allant à 300 grammes d'or par tonne.

La teneur moyenne est, en pratique, de 19gr,60 dont 13gr,50 à l'amalgamation.

Sur la **Modderfontein**, la coupe est la suivante de haut en bas :

Kimberley reef.

Quartzite	400 mètres.
Bird reef	12 à 15 mètres.
Quartzite, souvent un peu micacé au mur.	300 mètres.

South reef	Hanging n° 2 (non exploité)	0m,10
	Quartzite	0m,40 à 0m,50
	Hanging leader (riche)	0 ,08 à 0 ,10
	Quartzite noir très dur	0 ,60 à 1 »
	Middle reef	0 ,04 à 0 ,06
	Quartzite blanc	0 ,60 à 1 »
	Footwall leader	0m,08 à 0m,10

Lit schisteux laminé.

Quartzite	25 mètres.
North leader	0m,08
Quartzite	50 mètres.
Main Reef Leader	environ 0m,15
Grès quartzite	10 à 12 —
Main reef (North reef)	1 —
Schistes chloriteux	80 à 100 mètres.

Les schistes chloriteux, qui forment le mur du Main-Reef, sont souvent très disloqués ; le Main-Reef, qui se trouve au dessus, et que nous venons de voir travaillé en grand vers l'ouest, à Van Ryn, a donné lieu seulement, dans l'est de Modderfontein à quelques anciennes tentatives d'exploitations infructueuses ; vers l'Est, il se prolonge sur Modderfontein. Extension avec le même mur de schistes caractéristiques, une épaisseur de 0m,60 à 0m,90 et, à 1m,30 de distance au toit, un mince leader de 0m,15.

Le North leader du South reef, qui a également donné de bons résultats à la Chimes, a paru jusqu'ici à Modderfontein inexploitable.

Le South reef proprement dit, sur lequel portent, en résumé, tous les travaux de cette dernière mine, se compose d'un faisceau de 12 ou 15 petits bancs de conglomérats, très minces et très difficiles à reconnaître l'un de l'autre, d'autant plus que la richesse peut fort bien, en réalité, passer de l'un à l'autre, et dont trois seulement donnent lieu à une exploitation suivie (footwall leader, middle reef et hanging leader). Ces bancs, très différents de la plupart des conglomérats que

nous avons rencontrés jusqu'ici dans le Rand, sont tous très étroits (0m,04 à 0m,10) avec de petits galets blancs vitreux, enfumés, noirs mats ou rosés, semblant avoir subi un écrasement, et peu de pyrite apparente. Le plus riche est le hanging leader. Le quartzite noir, très dur, qui le surmonte, est à grain assez grossier et, en raison de ce fait, contient toujours une certaine proportion d'or (7 à 9 grammes), qui fait qu'on le passe aux pilons; à la surface, il prend une teinte brun chocolat avec des taches vertes. Le middle reef est très mince et disparaît fréquemment, comme tous les reefs de Modderfontein, ainsi qu'une ligne de dislocation qui paraît le suivre. Enfin le footwall leader est généralement pauvre et très irrégulier; il paraît devenir plus riche aux niveaux inférieurs en même temps qu'il se rapproche des quartzites noirs.

La pente est ici souvent très forte dans l'ouest des travaux, presque comme dans la concession de la Chimes qui se trouve de ce côté; elle atteint là 78° et plus. On remarque dans ce reef, presque vertical, des veines de quartz blanc stérile presque horizontales. En profondeur, la pente passe de 78° à 60°. Quand on va vers l'est, la couche s'aplatit, au contraire, jusqu'à 20 ou 25°.

D'après les résultats des essais, le directeur de la mine estime que la teneur pratique sera, quand les broyages commenceront en février 1896, d'environ 21 à 23 grammes, dont 15 à 13 à l'amalgamation.

Au delà de Modderfontein, les travaux d'exploitation s'arrêtent et, comme le sol est très masqué, soit par des limons, soit par les couches du Karoo (coal measures), comme, en outre, le pays est très plat et souvent marécageux sur les affleurements des reefs, les travaux de reconnaissance avancent assez lentement. Néanmoins on peut, dès à présent, suivre, à travers **Modderfontein Extension, Klippfontein et Amatola**, le trajet présumé du North reef (Main-Reef), caractérisé par la masse de schistes

située à son mur et les deux reefs supérieurs (Bird reef et Kimberley reef) dont les affleurements sont toujours mieux marqués que ceux du Main Reef : ce qui localise étroitement la zone des recherches pour le South reef, même sur les grandes étendues où il n'a pas encore été rencontré.

Le Bird reef, qui, en coupe transversale, est séparé du South reef par environ 300 mètres de quartzites, en est, en réalité, beaucoup plus éloigné à l'affleurement ; car les couches, dans toute cette région, sont presque horizontales (20 à 25° d'inclinaison seulement). Ce Bird reef, qui a 12 à 15 mètres de large, est caractérisé par des masses de petits galets blancs (très peu de noirs) fortement soudés dans un ciment très dur. Il passe sous le Compound (*) de Modderfontein, où il contient exceptionnellement un peu d'or visible ; mais, jusqu'ici, on l'a trouvé partout sans valeur, bien que, dans l'ouest du Rand, un reef qui lui est assimilé ait servi de prétexte à quelques Compagnies.

A 400 mètres au sud du Bird reef, affleure une énorme masse de poudingues, avec des parties à très gros galets, qu'on nomme le Kimberley reef, masse d'autant mieux visible en plusieurs points de cette région qu'étant presque horizontale, elle occupe des étendues considérables. Ce Kimberley reef est également bien caractérisé sur toute la longueur du Rand et a été généralement considéré comme pauvre, les galets stériles étant si gros qu'ils n'ont pas laissé de place à un ciment aurifère ; mais, dans l'épaisseur du poudingue, on rencontre parfois des veines à galets plus petits, très chargées de pyrite et qui, en certains endroits, ont donné lieu, dans ces derniers temps, à quelques espérances, dont l'avenir permettra d'apprécier

(*) Logement des ouvriers cafres.

la valeur. Ce sont des veines de ce genre qu'on cherche à exploiter à Rip (près du Champ d'Or), où elles sont très voisines du reef considéré comme le Main-Reef; au sud de Roodeport, on en retrouve à Marie-Louise ; puis, au sud de l'East Rand, à la mine Saint-Jean, où elles ont donné lieu, à diverses reprises, à des exploitations tout à fait précaires; enfin quelques Compagnies, que nous n'avons pas eu à citer chemin faisant, parce qu'elles n'ont encore qu'une existence théorique, comme la Kleinfontein deep, etc., se sont constituées pour y faire des recherches.

Les travaux de prospection de Modderfontein Extension et de Klippfontein n'ont recoupé jusqu'ici le Main-Reef (reconnu par son mur de schiste) qu'en des points où il est gréseux et assez pauvre : ce qui peut n'être qu'un hasard fâcheux, mais ce qui peut correspondre également à la présence dans cette région, soit d'une zone pauvre, comme nous en avons déjà trouvé en certaines parties du Rand, soit même d'un appauvrissement définitif, puisque, si étendue que soit l'imprégnation aurifère des conglomérats, elle doit pourtant s'arrêter quelque part.

Quant au South reef, on a, sur Klippfontein, recoupé son faisceau, bien caractérisé par tous ces petits bancs de conglomérats minces à galets fins avec intercalation de quartzites; mais on n'a pas encore reconnu quels sont dans le nombre, s'ils existent, les leaders riches.

Il est intéressant de constater que les reefs conservent, jusqu'à ce point — c'est-à-dire singulièrement au delà de l'endroit où les anciennes cartes annonçaient hypothétiquement un raccordement par une courbe N.-S. avec le reef du Nigel et supposaient la limite du bassin — une direction N.-E. Nous serions fort peu surpris si l'on constatait, un jour ou l'autre, que cette direction générale se poursuit, sauf quelques accidents locaux, encore sensiblement plus loin (*) ; car, à notre avis, comme nous l'avons dit plus haut, on a affaire là, non à un dépôt de lac restreint, mais à une dépression synclinale produite par plissement dans une formation de conglomérats très étendue, et ce synclinal doit, comme tous les plis du même genre qu'on peut si bien étudier dans le Jura ou les Alpes, se prolonger avec plus ou moins d'inflexions et d'étirements : ce qui donne à l'étude de cette région extrême un grand intérêt théorique aussi bien que pratique.

Il est vrai, le faciès gréseux tend à dominer ici dans la série du Main-Reef à la place des conglomérats et, de l'autre côté du synclinal, dans les reefs du Nigel, qui ont quelque chance pour représenter la réapparition de la même série sur l'autre flanc de la dépression, les reefs riches sont également gréseux ou à petits galets. Mais nous ne voyons aucune conséquence à en tirer au sujet de la proximité plus ou moins grande du rivage à l'époque où se sont formés ces dépôts et, par suite, sur les conditions dans lesquelles aurait pu s'accumuler l'or ; car il ne faut pas oublier qu'immédiatement au toit se retrouvent des reefs à gros galets, comme le Kimberley reef; il n'y a là probablement qu'un phénomène local dû au sens et à la direction des courants dans les eaux où se constituaient ces sédiments, peut-être une zone calme d'estuaire produite par le débouché d'une rivière.

Nous ajouterons seulement une remarque, c'est que cette zone de Modderfontein et du Nigel est celle où les deux bords de la cuvette synclinale (en admettant l'assimilation des reefs du Nigel avec ceux du Main-Reef) sont les plus rapprochés. Si l'on remarque, en outre,

(*) Il est regrettable que tous les explorateurs de ce district, trouvant plus commode de laisser faire les recherches par leur voisin afin d'en profiter, avancent avec une lenteur si grande et fassent, en réalité, si peu d'efforts.

que la pente, aussi bien dans l'est de Modderfontein qu'au Nigel, est très faible (20 à 30° environ), une coupe bien facile à établir montre que la profondeur verticale maxima du thalweg doit avoir environ 2.500 mètres.

Cette profondeur étant inaccessible à nos travaux de mine, il est bien peu probable que les galeries parties des deux bords viennent jamais se rejoindre dans la profondeur. Néanmoins, si jamais, avec la hardiesse qu'on apporte volontiers dans les entreprises de ce pays, on voulait tenter un sondage à grande profondeur pour explorer le fond du bassin, cette région paraîtrait particulièrement bien indiquée à cet égard.

A environ 30 kilomètres au sud de Modderfontein, on retrouve, ainsi que nous l'avons déjà indiqué à diverses reprises, au Nigel et à Heidelberg, une série de bancs de conglomérats aurifères plongeant en sens inverse de ceux que nous venons d'étudier dans la série du Main-Reef, c'est-à-dire vers le nord et présentant avec eux assez d'analogie pour qu'on ait pu supposer, d'une façon plausible, qu'ils constituaient leur réapparition au jour de l'autre côté de la cuvette synclinale. Dans cette région, une seule mine importante est, jusqu'ici, en exploitation, celle du Nigel ; mais l'attention ayant été vivement attirée dans ces derniers temps sur l'intérêt de ce district, et le champ ouvert aux entreprises y offrant encore des perspectives de succès d'autant plus vastes qu'elles sont moins déterminées, les travaux de recherches y sont poussés avec activité et permettront, peut-être assez prochainement, de se prononcer sur son avenir, encore problématique.

Au Nigel, les couches sont presque horizontales (de 18° à 23° à l'affleurement), et cette horizontalité suffit peut-être à elle seule pour expliquer comment la ligne de niveau, marquée par l'affleurement de l'une d'elles, devient, par suite d'un gondolement des terrains relativement

faible, une courbe très prononcée, qui apparaîtrait à peine pour une inflexion comparable, si les couches étaient fortement redressées. Si l'on ramène le phénomène à des données géométriques simples, on a ici la section d'une surface cylindrique par un plan faisant un angle très faible sur son axe : ce qui produit une ellipse très allongée ; tandis qu'avec les couches verticales on aurait la section du même cylindre par un plan perpendiculaire à l'axe, donnant un arc de cercle.

Toujours est-il que les terrains du Nigel décrivent, dans la concession même, une courbe très accentuée et que les travaux de mine actuels ont permis de bien reconnaître.

Le reef exploité au Nigel est un banc de conglomérat généralement assez mince ($0^m,65$ en moyenne), bien qu'il atteigne parfois 1 mètre, formé de galets assez petits, souvent enfumés, donnant à la roche un aspect grisâtre (*), avec galets de quartzite noir mat, parfois anguleux (comme on en trouve souvent dans le Main-Reef) galets de quartzite jaune (assez particuliers à cette mine) et pyrite abondante. Ce reef est superposé à des schistes contenant parfois de la magnétite : c'est-à-dire qu'il se trouve géologiquement dans des conditions comparables à celles du North reef de Kleinfontein, Van Ryn, Modderfontein, Klippfontein, que nous avons assimilé au Main-Reef ; il est, de même, recouvert par des quartzites ; enfin, comme aspect et même comme épaisseur, il ne diffère pas d'une façon nette de ce reef, qui, ainsi que nous l'avons vu, s'amincit beaucoup dans l'est du Rand. Ce ne sont assurément pas là des raisons suffisantes pour entreprendre une assimilation reef par reef à aussi grande distance ; d'autant plus

(*) Ces galets ont moins d'un centimètre en moyenne, mais sont de dimensions très variables et très irrégulièrement disposés. (Éch. 1479, 1 et 2.)

que le reef du Nigel est le plus souvent à galets beaucoup plus petits que le Main-Reef, partout où nous avons étudié ce dernier ; mais il est déjà très extraordinaire et très frappant de retrouver, aussi loin de l'affleurement des couches du Witwatersrand, une formation qui, dans son ensemble, s'y rattache aussi complètement et qui s'est aussi peu modifiée dans l'intervalle (notamment avec les mêmes galets exclusivement composés de quartz, et de structure minéralogique identique). Nous voyons là, suivant une remarque précédente, une preuve que ces conglomérats (indépendamment de leur ciment aurifère), au lieu de correspondre à un dépôt de lac restreint où, comme on peut l'observer aisément sur les lacs houillers du Plateau Central, les dépôts changent constamment de nature d'un point à l'autre, résultent d'un phénomène en réalité beaucoup plus étendu, plus général et plus régulier, tel qu'une sédimentation marine. Il serait absurde de prétendre *a priori* que, partout où ces conglomérats se prolongeront avec des caractères analogues, ils continueront à contenir de l'or ; mais, s'il y a réellement raccordement en profondeur de la série de Johannesburg avec celle de Nigel et d'Heidelberg, la présence de l'or, sur les deux flancs de cette cuvette, alors que ceux-ci, à l'époque de la venue aurifère, ne correspondaient à rien de spécial (puisque les affleurements actuels sont simplement la conséquence d'un plissement et d'une érosion postérieure), rend bien vraisemblable sa persistance avec des teneurs plus ou moins fortes dans l'intervalle, c'est-à-dire dans les parties les plus profondes que pourront jamais atteindre nos travaux.

Le reef du Nigel est, comme teneur en or, particulièrement riche par endroits, mais aussi fort irrégulier ; on y trouve des poches riches (des schoots) qui peuvent avoir de 1 mètre à 10 mètres de large et, des deux côtés, des parties pauvres ; en outre, il arrive fréquemment que le

reef, dans les parties superficielles, soit très pauvre et s'enrichisse à une certaine profondeur : ainsi, au puits n° 3, le minerai n'est devenu payant qu'à 30 mètres de la surface, au puits n° 12 qu'à 100 mètres ; on avait, au moment de notre visite, dans ce même puits n° 3, au huitième niveau ouest, des teneurs de près de 2 kilogr. d'or à la tonne sur $0^{m},25$ de large, tandis que les teneurs étaient faibles au cinquième et au dixième niveau. L'aspect et la richesse même de la couche rappellent plutôt le South reef que le Main-Reef du Rand.

Le reef est reconnu en direction sur une longueur de près de 1.300 mètres par 12 puits distants d'environ 100 mètres, et la partie la plus constamment riche se trouve environ au centre, au puits n° 7 ; nous avons essayé de nous rendre compte s'il y avait quelque loi d'appauvrissement de ce centre vers les extrémités : nous n'avons rien constaté de semblable.

Comme allure, la couche est, en moyenne, très continue et peu accidentée ; pourtant, l'on a trouvé récemment, au fonds du puits n° 10, un gros dyke.

La teneur moyenne est actuellement, en pratique, d'environ 45 grammes à la tonne ; elle a été jusqu'à 60, à un moment où l'on travaillait avec peu de pilons et seulement les parties riches ; il est probable qu'elle paraîtra s'appauvrir encore, par suite de l'augmentation de la batterie qui permettra de traiter des minerais plus pauvres laissés de côté jusqu'ici.

Un peu au nord, c'est-à-dire au toit du reef de Nigel, un autre reef à galets plus gros, mais plus pauvre (environ 7 à 9 grammes à l'amalgamation), n'a pas encore été exploité.

A l'est et à l'ouest du Nigel, on est actuellement en travaux d'exploration plus ou moins avancés. Vers l'est, se trouve la Marieval-Nigel, où l'on a, paraît-il, pu suivre l'affleurement des couches. Vers l'ouest, la Western-Nigel

occupe le deep immédiat du reef de Nigel, qui doit y exister entre 200 et 300 mètres de profondeur ; puis viennent les concessions de Romola et de Florida, où l'on observe un contact de schistes et de quartzites analogue à celui du Nigel, sans avoir, croyons-nous, prouvé l'existence d'un conglomérat riche en or situé entre les deux.

Les recherches dans toute cette région sont rendues difficiles par deux faits qui ne se présentent pas dans le Witwatersrand proprement dit : d'une part, les couches étant presque horizontales, leur intersection avec la surface du sol décrit des sinuosités très prononcées et amène peut-être même plusieurs réapparitions du même reef dans des vallées successives ; la géologie générale de la région n'ayant pas encore été faite avec suffisamment de soin, il faudrait une très longue étude pour raccorder entre eux les lambeaux de reefs disséminés, sur lesquels se sont établis, de place en place, des travaux d'exploration, qui tous croient tenir un tronçon du reef de Nigel (*). D'autre part, ce reef étant fort mince et compris entre deux terrains de nature aussi différente que des schistes et des grès quartzites, il est très fréquemment arrivé que l'action d'érosion des eaux superficielles se soit portée principalement sur ce contact et ait amené des glissements du toit sur le mur, glissements dans lesquels le reef tout entier s'est trouvé laminé et a disparu sur l'affleurement ; nous avons pu constater par nous-mêmes que, dans certaines descenderies placées hardiment sur l'emplacement présumé du reef, c'est-à-dire sur le contact des schistes et des quartzites, en un point où aucun conglomérat n'apparaissait à la surface, on finissait parfois,

(*) C'est ainsi que notre carte Pl. II dessine deux reefs au sud d'Heidelberg, l'un que nous avons pu suivre sur une grande longueur le long du Biesbok-spruit, l'autre que M. Goldmann a préféré raccorder hypothétiquement au Nigel, et qui s'en va vers Molyneux et Blinkpoort.

à 30 ou 50 mètres de la surface, par retrouver ce conglomérat à sa place rationnelle. On est donc amené, dans tout le district d'Heidelberg, à chercher d'abord le conglomérat le long de la ligne de contact (seule visible) des schistes et quartzites ; après quoi, ce conglomérat ayant été trouvé, une seconde démonstration reste à faire : celle de sa richesse en or.

Nous ne décrirons, des très nombreuses recherches entreprises dans cette région, que celles que nous avons eu l'occasion de visiter auprès d'Heidelberg et à Blinkpoort.

Au voisinage de la ville d'**Heidelberg**, on rencontre une nombreuse série de conglomérats alternant avec des quartzites et plongeant faiblement au nord, série qu'on a, plus ou moins hypothétiquement, cherché à assimiler avec la série du Main-Reef du Witwatersrand. La coupe du sud au nord est la suivante.

Au sud de Heidelberg et dominant la ville, se trouve une haute colline de quartzites, contenant un banc épais de conglomérats à gros galets qu'on pourrait identifier avec celui de la vallée de Geldenhuis (situé au Nord de Johannesburg).

Puis viennent un reef pauvre à petits galets, le railway cutting reef (rencontré dans la tranchée du chemin de fer), conglomérat très chargé de mica blanc avec un lit de quartzites micacé à son mur, et le stripe pebbles reef, c'est-à-dire le reef à galets rayés, sur lequel on a fait autrefois beaucoup de recherches reprises aujourd'hui, mais qui paraît généralement pauvre, bien qu'aurifère (4 à 7 grammes).

Ce reef doit son nom à la présence très caractéristique de nombreux galets (souvent anguleux) de quartzite rubané et d'arkose silicifiée : en quoi il se rapproche du reef de la vallée de Geldenhuis, au Nord de Johannesburg et diffère, au contraire, du Main-Reef qui n'en contient

jamais. Il est formé d'un reef principal, d'environ 0m,80 à 1 mètre, et de 3 veines, ou leaders, de 0m,8 à 0m,10 séparées par des intervalles de grès de 0m,25.

On le connait, par exemple, à l'ouest d'Heidelberg, au bord de la rivière Beesbokspruit dans la ferme de Boschfontein.

Quand on continue vers le sud, on rencontre encore d'autres reefs semblables et l'on traverse enfin une couche de schistes, au contact de laquelle de nombreux travaux de prospection recherchent, en ce moment, le Nigel reef.

Tous ces bancs sont à peu près horizontaux, plongeant à peine de 20 à 30°, en sorte que leurs affleurements dessinent des contours compliqués.

Néanmoins, la présence de quelques couches caractéristiques, comme le reef à galets rayés et le mince conglomérat au contact des schistes et des quartzites, permet de suivre assez bien cette série de bancs vers l'Ouest, à travers les fermes de Boschbock, Schikfontein, Sterkfontein, Brakfontein, etc.

C'est sur un contact analogue de schistes et de grès que se trouve le reef de Molyneux, un banc de conglomérat fin, avec 8 centimètres de gros galets à ciment pyriteux à la base, le tout reposant sur des schistes.

Dans les recherches actuelles de **Blinkpoort,** on croit être sur ce reef de Molyneux qui a là un plongement de 30°: la coupe comprend des grès avec, à la base, 0m,20 à 0m,25 d'un conglomérat à galets très petits assez anguleux et très pyriteux reposant sur des schistes: au contact même des schistes, se trouve, dans la zone superficielle, une veine oxydée de 2 à 3 centimètres, où s'est concentré le maximum de teneur en or.

Avant de passer maintenant aux autres reefs plus élevés dans la série, tels que le Kimberley reef ou le

Black reef, nous allons revenir un moment dans l'Ouest du Rand pour étudier quelques gisements que nous avons laissés de côté jusqu'ici et qu'une courbe tout hypothétique raccorde, sur les cartes, à la série du Main-Reef, jusqu'à Potchefstroom et à Klerksdorp.

De ce côté, nous avons débuté tout à l'heure par Luipaardsvlei, les West Rand Mines et le Champ d'Or ; au delà de Luipaardsvlei vers l'ouest, on peut juger, sinon d'après le Main-Reef dont on perd la trace, au moins par toutes les couches encaissantes et surtout par les Bird reef et Kimberley (ou Battery) reefs toujours bien caractérisés, que la série des reefs s'infléchit brusquement et prend la direction N.-S., reconnue sommairement à Randfontein ; après quoi, elle semble, à travers les fermes de Middevlei, Hartebeest-fontein et Witfontein, retrouver sa direction première. Ce qu'elle devient ensuite n'est pas encore connu ; mais l'inspection d'une carte géologique générale, comme celle de Draper et Wilson Moore, dans l'ouvrage de Goldmann, si inexacte qu'elle puisse être dans les détails, permet de s'en faire une idée approximative ; on peut voir, en effet, sur la carte (Pl. II) que nous avons empruntée en grande partie à cet ouvrage, l'étage des quartzites et conglomérats, après un rejet produit par la rencontre d'un dyke qualifié de granite, former une longue crête anticlinale N.-E. — S.-O. recouverte des deux côtés par les calcaires dolomitiques (qui peuvent masquer les affleurements de certaines couches, mais ne les empêchent pas d'exister en profondeur), et l'on rejoint ainsi la région de Buffelsdoorn, où les exploitations reprennent sur une série aurifère analogue à celle du Rand, dirigée N.-E. — S.-O. avec plongement Est. C'est de ces derniers travaux seulement que nous parlerons. Nous remarquerons, d'ailleurs, que leur situation à proximité très immédiate du calcaire dolomitique superposé ne concorde pas avec la position stratigraphique du Main-Reef dans

le Rand; mais, comme la dolomie repose en stratification discordante sur les quartzites, ce n'est pas là une objection absolue à l'assimilation souvent proposée du reef de Buffelsdoorn avec le Main-Reef; car elle peut se trouver venir ainsi en contact avec des couches plus ou moins élevées de cet étage.

A **Buffels doorn Estate** (*), on exploite seulement un reef appelé White reef (couche blanche); mais, à 20 mètres au mur (N.-O.), existe un autre reef à très gros galets exploité, le North reef, et, 120 mètres plus loin dans la même direction, on rencontre un reef à petits galets appelé Red-Reef (couche rouge), auquel on attache une importance, peu justifiée jusqu'ici par les faits, sur certaines concessions voisines. A 30 mètres au sud du White reef, se trouve également un reef à gros galets sans valeur; puis vient une crête de quartzite très nette et, à 1.200 mètres environ de distance, un reef presque horizontal assimilé au Black reef.

Le White reef, dans les travaux actuels de Buffelsdoorn, présente un aspect extrêmement particulier, tout différent de ce qui existe dans le centre du Rand, et dont nous n'avons guère trouvé jusqu'ici l'analogue (encore avec de grandes dissemblances) que dans l'Est, vers Modderfontein ou Rietfontein. Au lieu d'être un conglomérat, c'est presque partout un simple quartzite, qui ne se distingue en rien au premier abord des quartzites encaissants (bien que, vers l'Ouest, il commence à se charger un peu de galets) (**). Il en résulte une très grande difficulté pour suivre le minerai dans la mine, et les erreurs de ce chef paraissent être fréquentes : on exploite constamment de la roche stérile, tandis qu'on doit

(*) Éch. 1482 (1 à 20).

(**) Il ne serait pas impossible que ce quartzite se transformât en conglomérat à une certaine distance.

laisser, sans les prendre, bien des parties relativement riches. Il semblerait pourtant qu'une étude un peu plus attentive et plus théorique du minerai (étude qui n'est, en aucune façon, dans les goûts ni même à la portée de la majeure partie des ingénieurs anglais du Transvaal), pourrait rendre l'abatage plus rationnel. Lorsqu'on examine, en effet, les quartzites aurifères de Buffelsdoorn, on s'aperçoit que l'or y est, comme partout, associé à la pyrite, et cette pyrite, bien que peu visible, se concentre suivant certaines veinules ou, par un phénomène curieux que nous constaterons également à l'Orion, elle est très fréquemment accompagnée d'une matière charbonneuse noirâtre, ayant peut-être exercé une action sur la précipitation de l'or (*). Ces veinules pyriteuses et charbonneuses sont disposées en tous sens dans la roche, non seulement suivant la stratification, mais aussi transversalement (**). Elles semblent pourtant particulièrement abondantes à la base des quartzites, où, en même temps, on rencontre quelques rares galets. Quand on les trouve ailleurs, il semble également qu'elles accompagnent un grès plus grossier formé d'éléments plus gros que le quartzite environnant.

Au mur, le banc de minerai semble généralement assez bien limité; mais au toit, il passe progressivement au quartzite stérile. Son épaisseur exploitée, qui est considérable, mais contient des quantités très fortes de roche absolument stérile, atteint souvent 6 ou 7 mètres. Il est traversé par des veines de quartz de 8 à 10 centimètres de large, avec cristaux de pyrite de cuivre, galène, blende (parfois même d'or) assez volumineux et salbandes argileuses, c'est-à-dire présentant quelques caractères

(*) A Kongsberg en Norvège, on retrouve de même de l'anthracite dans des filons d'argent qui se présentent sous forme de veines d'une minceur extrême.

(**) Éch. 1483 (7 à 11).

filoniens, bien qu'elles résultent probablement d'une simple sécrétion. La teneur est faible, probablement environ 14 grammes par tonne métrique d'après les chiffres communiqués par la société ; mais les résultats de l'exploitation sont encore trop incomplets pour permettre de rien préciser à cet égard.

A l'Est, les couches de la Buffelsdoorn sont limitées brusquement par un dyke de roche éruptive qui les rejette au Nord. Vers l'Ouest, elles peuvent se suivre très loin, vers Buffelsdoorn A, Buffelsdoorn Consolidated, etc... En profondeur, elles ont été coupées, entre le cinquième et le sixième niveau, par un dyke longitudinal analogue à ceux du Crown reef, East Rand, etc., dyke très épais que les travaux viennent à peine de traverser. En deux points, au cinquième niveau ouest et est, nous avons constaté un élargissement notable (sans doute accidentel) du reef là où il arrive au contact de ce dyke longitudinal.

Pour terminer notre étude sur les couches aurifères, il ne nous reste plus maintenant qu'à parler brièvement des reefs secondaires, situés au Sud, c'est-à-dire au toit de la série du Main-Reef.

Quand on traverse le Main-Reef pour se diriger vers le Sud, on rencontre, au milieu des quartzites qui forment la masse du terrain, de très nombreux bancs de conglomérat qui, bien souvent, contiennent des traces plus ou moins fortes d'or : ce qui ne veut nullement dire que cet or y soit exploitable.

Parmi ces reefs du Sud, nous avons déjà mentionné, chemin faisant, le Bird reef et le Kimberley reef ou Battery reef, et dit un mot des travaux faits sur ce dernier à Rip, Battery Extension, Marie-Louise (au Sud de Vogelstruis), ainsi que du rôle qu'il joue dans les travaux de prospection de Modderfontein Extension ou de Kippfontein.

Dans l'ouest, on retrouve ce Battery reef au Sud des

West Rand, sur la Violet ; il se coude là vers le Sud, accompagné au toit par un reef nommé le Burgers reef et traverse la ferme de Rietvlei du Nord au Sud, parallèlement au Reef de Randfontein.

Directement au Sud de Johannesburg, on rencontre, également à 5 kilomètres de la ville, sur la crête de Rosettenstein, au dessus de la pente du champ de course, une énorme masse de conglomérats qui n'a donné lieu qu'à quelques travaux sans importance et ne contient que des traces d'or, mais est remarquable par la grande abondance et l'énorme volume des galets de quartzite blanc qu'elle contient.

Un peu plus loin vers le Sud, on trouve d'autres bancs de conglomérats également très épais et très nombreux, sur lesquels ont porté jadis les recherches de la mine de Paaz (*), et, presque immédiatement après, on entre dans la grande masse de diabases amygdaloïdes qui s'étend, de l'Ouest à l'Est, sur 30 kilom. de long et 1 kilom. de large, de la ferme de Doornkop à Olifantvlei, Rietvlei, etc.

C'est au sud de ces masses éruptives, et, en bien des points, au contact des calcaires dolomitiques, que se trouve un très curieux reef, souvent très riche, mais aussi fort irrégulier, que l'on nomme le **Black reef**, reef exploité à l'Orion (ferme de Roodekop) et dans les exploitations voisines, Minerva, etc., et qui paraît bien être le même que celui retrouvé, plus à l'Ouest, à Steyn Estate et Madeline (où les résultats ont été jusqu'ici, croyons-nous, peu encourageants), puis à Midas et, peut-être même, jusqu'au delà de Buffelsdoorn (**).

(*) C'est l'Elsburg reef (ainsi nommé du village d'Elsburg), que l'on a exploité jadis à l'Aurum Company. En allant à l'Orion, on rencontre aussi un gros reef de 4 à 5 mètres, l'Eagles reef, à forts galets, qui n'est pas exploitable.

(**) L'assimilation du reef d'Eastleigh au sud de Buffelsdoorn avec le Blackreef est faite à une si grande distance qu'on doit la considérer comme très hypothétique.

Le gisement d'Orion (*) présente un très grand intérêt géologique, c'est pourquoi nous nous y arrêterons un peu longuement; il est, en effet, absolument différent des autres, et c'est peut-être le point où l'on saisit le plus manifestement sur le fait le rôle joué par le charriage de la pyrite et sa sédimentation dans les formations aurifères du Rand; il paraît, en outre, en relation assez directe avec les diabases et, comme il est très rapproché de l'axe de la grande cuvette synclinale de la région, l'allure même des dépôts, presque horizontaux, y est fort caractéristique.

La coupe est la suivante : à la base, se trouve une nappe de diabase présentant parfois de curieux étoilements (**), dont nous donnerons plus loin la description. Cette diabase, qui vient s'intercaler dans les couches sédimentaires presque parallèlement à leur direction, entre les quartzites du Rand au Nord (c'est-à-dire au mur), et des quartzites immédiatement surmontés de calcaires dolomitiques noirs au toit, présente une série d'ondulations remarquables, de dépressions et de saillies, allongées dans le sens Est-Ouest, conséquence possible du plissement des terrains auxquels elles sont parallèles ; il en résulte un certain nombre de rigoles Est-Ouest (schoots ou channels), dans lesquelles s'est nettement concentré le minerai, en sorte que, de la rencontre d'un nombre plus ou moins grand de ces rigoles, dépend absolument l'avenir des mines.

Et, dans ces rigoles, le minerai, composé d'une masse à peu près compacte de pyrite aurifère, a été nettement stratifié ; ce n'est en aucune façon (au moins sous sa forme actuelle) un gite filonien, puisque, même à l'œil nu, on voit, de tous côtés, apparaître les galets de pyrite roulés (*). Il s'est même produit là une préparation mécanique assez nette, conséquence naturelle du charriage, en raison de laquelle la zone riche en or est toujours à la base — cela indépendamment de la structure du minerai, qui est formé de pyrite roulée à grains plus ou moins fins, les lits à gros galets de pyrite pouvant aussi bien se trouver en haut qu'en bas de la couche (**). — Dans le Rand nous avions bien noté, à diverses reprises, une certaine tendance à la concentration de l'or vers la base; mais, ici, le fait est absolument caractérisé.

Il y a, ce nous semble, plusieurs remarques à faire au sujet de cette formation : d'une part, l'existence de galets roulés de pyrite ayant 5 à 6 millimètres de diamètre, prouve, étant donnée la friabilité extrême de cette substance, que cette pyrite a été à peine déplacée de son point de formation et de précipitation chimique, qu'elle a subi simplement dans les vagues un roulement presque sur place; et cela concorde avec l'allure des rares galets de quartz qui ne jouent plus ici qu'un rôle insignifiant, galets blancs, noirs, ou parfois rouge sombre, pour la plupart encore anguleux, irréguliers, ressemblant plutôt aux fragments d'une brèche qu'à un conglomérat et comme saisis sur le vif (***). Les galets proprement dits n'apparaissent que sur la périphérie de ces dépressions remplies de pyrites; on y voit alors le minerai reprendre parfois peu à peu l'aspect d'un conglomérat habituel.

(*) Collection, 1481.
(**) Éch. 1481 (13 à 14).

(*) Sur les roches d'affleurement où la pyrite a, comme toujours, disparu, on voit très bien les cavités rondes laissées par ces petits galets pyriteux au lieu des vides anguleux habituels dans les quartz aurifères. On a émis l'idée que la forme spéciale du Blackreef pourrait tenir à ce qu'il résulterait d'un simple remaniement des reefs antérieurement formés; mais, comme on trouve également à la base du Rietfontein reef, c'est-à-dire à la base de toute la série (Ech. 1478,2), une couche analogue à galets de pyrite roulés, cette théorie paraît peu soutenable.
(**) En dehors de la pyrite roulée, il existe des zones de pyrite cristallisée qui peuvent être dues en partie à un phénomène secondaire.
(***) Ech. 1481 (4 et 5).

On peut donc se demander si nous n'aurions pas là sous les yeux l'effet d'un remaniement immédiat, ayant porté sur une formation pyriteuse aurifère, chimiquement précipitée, qui pourrait très bien elle-même avoir été produite au contact de la diabase à la suite de l'intrusion de cette roche au milieu de la sédimentation.

En tout cas, cette sédimentation de la pyrite paraît s'être produite postérieurement au plissement de la diabase, puisqu'elle s'est déposée dans les creux de cette roche et antérieurement à la formation des couches postérieures de quartzites, qui reposent très régulièrement et presque horizontalement sur le toit du minerai (*). Ces quartzites eux-mêmes, épais d'environ 20 mètres, sont presque immédiatement surmontés par des calcaires noirs, les premiers calcaires que nous rencontrions dans la série géologique du pays : calcaires dont l'apparition doit correspondre à un changement dans les conditions du dépôt, et au-dessus desquels, en fait, on ne trouve plus d'or.

Nous noterons encore que les métaux étrangers, tels que le cuivre, le plomb, le cobalt, le nickel, l'arsenic, etc., dont l'analyse nous avait seulement décelé de rares traces dans les minerais du Rand, sont ici assez abondants pour avoir attiré l'attention des mineurs.

En résumé, le gisement d'Orion consiste dans un certain nombre de rigoles E.-O. (schoots ou channels), remplies de pyrite aurifère ; on avait trouvé deux de ces rigoles avant février 1895, on en a rencontré une autre depuis, vers le Nord, et rien n'empêche théoriquement qu'il en existe d'autres au Sud, sous les terrains supérieurs qui les masquent actuellement.

Ces amas pyriteux, allongés dans le sens E.-O., sont

(*) Dans certains gisements du Blackreef, cette intercalation de quartzites au toit disparaît, dit-on ; ainsi, à Eastleigh, on aurait trouvé, paraît-il, le reef, immédiatement sous le calcaire.

connus : les deux premiers sur 810 mètres, l'autre sur 1.200 mètres de long, avec une largeur de 150 mètres dans le premier cas, de 80 dans le second. Leur épaisseur est très variable entre 0 et 6 mètres, mais peut être évaluée à $1^m,30$ en moyenne. Le minerai, assez réfractaire à la cyanuration, ne rend guère que 70 p. 100 de l'or contenu, soit en moyenne, pour les deux dernières années, 30 grammes par tonne métrique (18 dwt par short ton du Transvaal).

Les minerais sont formés d'une masse de pyrite, tantôt fine, tantôt formée de globules roulés, pyrite, soit blanche et brillante, soit sombre (cette dernière teinte passant pour plus favorable).

Au mur même de cette pyrite, dans la zone oxydée superficielle, seule atteinte jusqu'ici par les travaux et qui, par suite de l'horizontalité des couches, se prolongera très longtemps, il existe, le long de la pyrite, une veine mince d'hématite brune, mêlée d'argile parfois schisteuse, veine de 3 à 4 centimètres (*), produite sans doute par l'infiltration des eaux de surface suivant le contact, et où la richesse en or atteint son maximum, jusqu'à 3 kilogr. d'or à la tonne dans quelques essais. C'est cette veine sombre, qui a fait donner à la couche son nom de reef noir (Black reef). Le long de ce délit argileux, on trouve souvent, par un phénomène que nous avons également constaté à Buffelsdoorn, des matières charbonneuses graphitiques, ayant pu jouer un rôle dans la précipitation de l'or. Il est possible que cette action des eaux superficielles ait amené, suivant cette veine d'hématite, une certaine concentration de l'or ; on a cru, en effet, remarquer que le minerai était plus riche là où la roche du mur était plus décomposée : ce qui correspond, d'ailleurs, fréquemment avec le fond des synclinaux.

(*) Éch. 1481 (6 et 7).

Vers le Sud de la même région, on rencontre des lits, non plus d'hématite, mais de bioxyde de manganèse, interstratifiés, qui ont également la propriété de servir de chenal aux eaux de surface.

A l'Est d'Orion se trouvent les mines de Minerva et de Blackreef proprietary ; dans l'Ouest, nous décrirons simplement la mine de Midas ; mais plus loin, vers Klerksdorp, on rattache encore à la même formation le gisement d'Eastleigh, où un reef, également presque horizontal (avec léger plongement Ouest), est directement recouvert par le calcaire dolomitique (Oliphant Klip), sur lequel s'appuient à leur tour les couches du Gastrand.

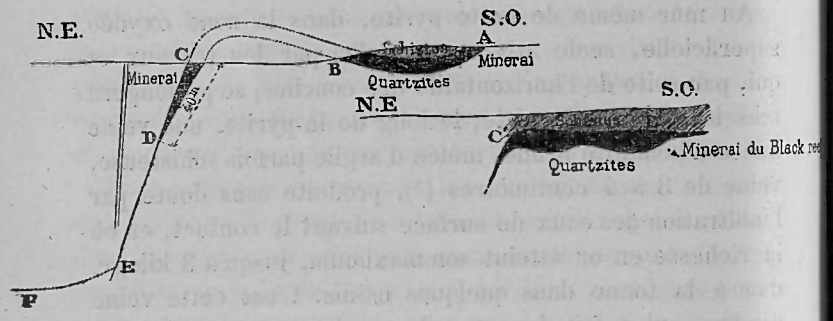


Fig. 11.
Coupes théoriques transversales du gite de Midas (Black reef).

A **Midas** (*) la coupe théorique, qui paraît jusqu'ici résulter des travaux, est représentée par deux croquis ci-dessus (*fig.* 11). De premières recherches ont exploré la lentille AB, où le minerai riche avait une épaisseur moyenne de $0^m,30$ et sont venues rapidement ressortir au jour, en B ; après quoi, on est descendu presque verticalement en CD, où l'on a bientôt, à 40 mètres de la surface, trouvé un brouillage et un étirement du reef ; le

(*) Éch. 1482.

plan CD ayant tout l'air d'une faille, nous ne serions pas surpris que l'on retrouvât un peu plus bas, en EF, le prolongement de la couche rejetée : en attendant, on a exploré un peu plus loin vers l'Ouest (et hors de la concession) une autre lentille horizontale C'B', située à 20 mètres de profondeur, et reconnue actuellement sur près de 2 kilomètres de long et 800 mètres de large, lentille qui, à l'extrémité des travaux en C', paraît limitée par le même accident.

Ce reef, que l'on assimile au Black reef sans raison absolue, mais qui présente certainement avec lui beaucoup de caractères communs, se trouve dans une situation géologique différente, intercalé entre des schistes au toit et des quartzites au mur ; la coupe est la suivante :

Schiste.	
Blue-bar (quartzite).....	1^m à $1^m,30$
Schiste.....	$0^m,60$
Conglomérat.....	0^m à 1^m
Quartzite.	

Au toit, les schistes renferment plusieurs bancs de quartzites durs ; quant aux quartzites du mur, ils n'offrent pas des ondulations aussi nettes que le mur de l'Orion ; et le reef n'atteint pas non plus d'aussi grandes épaisseurs ; mais il est également ici de puissance fort irrégulière entre 0 et 1 mètre et, par endroits, disparaît même complètement.

Ce reef est un véritable conglomérat à très petits galets de la grosseur d'un pois, englobés dans un ciment brun micacé, où la concentration de l'or à la base est loin d'être aussi nette qu'à l'Orion, bien que la pyrite semble également disposée parfois par lits stratifiés. Les teneurs aux essais sont, dit-on, souvent très fortes, mais avec l'irrégularité habituelle dans ce genre de gisements.

C. — Description spéciale des minerais d'or du Witwatersrand.

Jusqu'ici nous avons étudié l'allure générale des conglomérats aurifères du Witwatersrand, sans entrer dans aucun détail sur la structure des roches qu'on y exploite; c'est maintenant le moment d'examiner celles-ci d'un peu plus près.

Les minerais d'or du Witwatersrand sont, nous l'avons dit déjà, d'un type tout à fait particulier, qui ne correspond à peu près à rien de ce qu'on peut observer dans les mines d'or des autres pays.

Ils sont, en effet, composés de conglomérats (accessoirement de grès grossiers ou quartzites) à éléments quartzeux plus ou moins roulés, soudés par une pâte siliceuse englobant de petits grains de quartz, et renfermant des veines de pyrite, avec lesquelles l'or paraît avoir été toujours originellement associé.

La dimension des éléments roulés peut être extrêmement différente d'un banc aurifère à l'autre, sans que cette grosseur donne un indice constant de la richesse en or; c'est ainsi que nous pouvons trouver une teneur égale dans un conglomérat à galets de 6 ou même 10 centimètres de diamètre, comme est parfois le Kimberley reef, ou dans un simple quartzite à grains fins, comme le reef de Buffelsdoorn; cependant, dans une couche donnée, correspondant à une période de dépôt déterminée, et surtout en un point particulier de cette couche, on peut dire, d'une façon presque constante, que l'or se concentre avec les éléments les plus gros, c'est-à-dire ceux dont le déplacement par les eaux a exigé le plus de force. Cela est vrai dans les conglomérats proprement dits; cela se vérifie également pour les conglomérats à grain fin ou les simples quartzites; ainsi. quand on observe un quartzite

aurifère comme celui de Buffelsdoorn, on voit la pyrite aurifère accompagner de préférence les parties de ce quartzite qui tournent au grès plus grossier et, si quelques galets disséminés constituent dans la roche un cordon même très discontinu, c'est le long de ce cordon qu'on trouvera la pyrite aurifère. Enfin, l'examen microscopique montre également une tendance des plages de pyrite et d'or à se concentrer et s'aligner au voisinage des galets.

Mais il peut très bien exister, à quelques mètres de distance d'un simple quartzite ou d'un poudingue à petits éléments contenant de l'or, un banc à gros galets absolument stérile; et deux bancs voisins à galets identiques peuvent être très inégalement aurifères. C'est un fait dont le Main-Reef et le Main-Reef Leader, par exemple, couches généralement très rapprochées, donnent une preuve fréquente : le Main-Reef, avec des galets de grosseur identique à ceux du Leader ou même plus volumineux, a presque constamment une teneur beaucoup moindre (*).

(*) Il peut être intéressant de rappeler, à ce propos et comme point de comparaison, les caractères présentés par les couches d'alluvions pliocènes aurifères, soit en Californie, soit en Australie. Dans l'ensemble, ces dépôts se rencontrent le long d'anciens thalwegs (aujourd'hui souterrains) de rivières anciennes, et sont localisés suivant ces thalwegs, aujourd'hui bien connus par des puits et des sondages. En outre, l'or y est accumulé presque exclusivement dans la strate inférieure, sur la roche du fond et principalement dans les anfractuosités de celle-ci : il est rare d'avoir, presque immédiatement au dessus, une ou deux autres couches de gravier aurifère séparées par des lits d'argile. Ces formations sont donc très différentes de ce que nous observons au Witwatersrand; cependant la préparation mécanique, produite ici par le cours d'eau, y a amené une concentration analogue de l'or dans le gravier à gros galets, le blue gravel, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à 12 ou 15 mètres. On exploite, en somme, des couches de graviers et de galets souvent soudées par un ciment siliceux cristallin et contenant en abondance de la pyrite de fer cristallisée en cubes, c'est-à-dire une sorte de conglomérat aurifère; l'or est uniquement avec

Nous venons de mentionner, pour être complet, le cas de quartzites aurifères; mais le minerai, de beaucoup le plus fréquent, surtout dans les anciennes mines du centre du Rand, est un conglomérat à galets de dimensions variables entre une noisette et un œuf. La connexion de l'or avec les conglomérats s'interprète également bien dans les deux seules hypothèses que l'on puisse faire sur le mode de venue du métal précieux : si cet or est arrivé par charriage, comme dans un placer, ou même si, d'une façon quelconque, une action de transport est intervenue, il est naturel qu'un phénomène de simple préparation mécanique ait réuni le métal, en raison de sa densité, avec les fragments également difficiles à entraîner par l'eau (non plus à cause de leur poids spécifique, mais à cause de leurs dimensions), comme sont les galets, tandis que les sables fins continuaient à être portés plus loin ; si, au contraire, l'or résulte simplement d'une précipitation chimique contemporaine du dépôt ou postérieure, la circulation des dissolutions aurifères a dû se faire plus facilement entre les gros galets qui formaient un filtre largement ouvert, qu'au milieu des sables tassés et laissant peu d'intervalles pénétrables (*).

Dans le conglomérat aurifère, qui constitue donc le minerai habituel, nous avons, en somme, à étudier deux parties bien distinctes et pouvant avoir une origine tout

ces galets, non avec les lits d'argile intermédiaires; et cet or est d'autant mieux concentré que la préparation mécanique a été plus complète : ce qui se marque par la séparation nette des argiles et des graviers à éléments de diverses grosseurs (Cf. *Gîtes Métallifères*, II, 964).

(*) Les parties riches se trouvent souvent, comme nous l'avons dit, dans certaines veines minces à gros galets (ou leaders) à côté d'un conglomérat presque stérile. Parfois ces lits riches à gros galets se trouvent à la base du banc, comme cela s'explique logiquement par la préparation mécanique résultant de la sédimentation : ainsi dans le South reef du centre du Rand; mais parfois aussi ils sont à la partie supérieure : ainsi dans le Main-Reef Leader de la même zone.

à fait indépendante : les galets, plus ou moins volumineux, qui, par une particularité d'un intérêt capital, ne contiennent jamais d'or, cela quel que soit leur diamètre, sinon parfois dans de petites fissures, et le ciment, où l'or est, au contraire, concentré avec la pyrite de fer et la silice.

Galets et ciment sont, en général, très intimement soudés ; sauf aux affleurements, où la dissolution de la pyrite sous l'action des eaux superficielles a désagrégé la roche, ils ne font qu'un et, presque toujours, quand on casse un fragment de conglomérat, galets et ciment se cassent ensemble, suivant une même surface plane, où les galets ne se dessinent donc que par leur section circulaire ou elliptique, tantôt plus claire, tantôt plus foncée que la pâte enveloppante.

Parlons d'abord de ces galets : les galets des conglomérats aurifères de la série du Main-Reef sont toujours exclusivement formés de quartz ou d'un quartzite à grain très fin, d'un noir mat; dans certains reefs à gros galets, soit au-dessus, soit au-dessous du Main-Reef, on trouve, en outre, des galets, souvent fort volumineux, de quartzite à grain plus gros, analogue à celui qui encaisse les gites; jamais on ne rencontre aucune trace de roche ancienne, telle que gneiss, granite, granulite, etc. La conclusion à tirer de ce fait, c'est, croyons-nous, que ces galets résultent d'un charriage assez prolongé pour avoir détruit toutes les roches plus friables en ne laissant que le quartz qui, dans une action mécanique de ce genre, est toujours le dernier à se réduire en poussière. Nous avons déjà remarqué que la présence fréquente de galets plats, en particulier dans le South reef, donnait à penser (comme l'allure générale de la formation, du reste) que ce charriage avait eu lieu, non le long d'un cours d'eau, mais sur une plage par l'action des vagues ; les galets plats sont parfois empilés obliquement à la stratification (New

Crœsus) comme on peut l'observer dans certaines formations actuelles du même genre (*).

Les quartz des conglomérats sont de plusieurs natures, mais avec ce caractère commun d'être hyalins et légèrement vitreux (ni opaques ni laiteux), les uns blanc bleuté, les autres noir enfumé, ces derniers ayant, dans quelques mines, la réputation (peu justifiée, ce semble) d'annoncer le minerai riche. Au microscope, ils se montrent remplis d'inclusions et présentent le caractère de quartz brisés et soumis à des actions dynamiques.

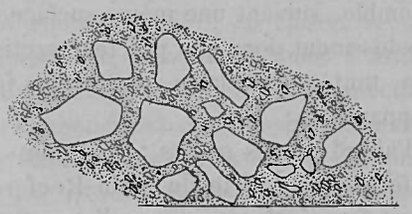


Fig. 12.
Exemple de galets anguleux et irrégulièrement disposés dans un conglomérat de la Wemmer (South reef, 8e niveau) $\left(\frac{1}{2}\text{ nature}\right)$

Quand on examine en détail une coupe de conglomérat, on constate constamment l'existence de galets à angles vifs, ou tout au plus émoussés (*fig.* 12; Pl. II, *fig.* 3 et 4), qui proviennent sans doute de la fragmentation presque sur place de quelques galets plus gros; parfois aussi des morceaux de quartz anguleux paraissent s'emboiter les uns dans les autres, séparés seulement par des veinules pyriteuses, comme si, là encore, on avait affaire à un

(*) Le Dr Koch (*in* Schmeisser, *loc. cit.*, p. 46) a fait remarquer que ces galets plats portaient souvent la preuve d'actions mécaniques : ce qui est parfaitement exact ; mais il nous semble impossible, quand on les a examinés, non sur quelques échantillons, mais sur de grandes masses de minerai, d'attribuer leur aplatissement uniquement à un phénomène de compression.

gros galet brisé (peut-être postérieurement à la formation du conglomérat), dont les débris seraient restés à peu près juxtaposés.

Dans certains cas aussi, le passage du galet au ciment encaissant est difficile à observer : on dirait que le ciment a fait corps avec ce galet, peut-être par une recristallisation secondaire.

Enfin, l'on observe constamment, dans l'intérieur de ces quartz, en particulier dans ceux du South reef, des brisures internes, des craquelures montrant qu'ils ont été soumis, après leur dépôt, à une pression, à un laminage énergiques.

Le ciment, qui soude ces galets les uns aux autres, renferme de la pyrite de fer bien visible, de la silice ayant recristallisé par action secondaire, des grains de quartz englobés à contours brisés, dentelés ou arrondis (provenant, sans doute, du sable resté entre les gros galets), et, enfin, de l'or. Accessoirement on y observe au microscope quelques-uns des éléments ordinaires les plus résistants des roches cristallines, rutile, zircon, etc.

Nous dirons, de suite, que, d'une façon générale, l'or n'est pas visible dans le minerai du Transvaal ; c'est très exceptionnellement seulement qu'un peu d'or libre a cristallisé, à la suite d'une redissolution secondaire, soit sur un plan de joint où il forme un enduit, soit dans une veine de quartz, où il constitue parfois des cristaux assez volumineux (*); mais, à moins d'un hasard de ce genre, on peut parcourir tous les chantiers des mines du Witwatersrand sans y voir une trace d'or.

Il existe, cependant, une certaine proportion d'or à l'état libre dans ce minerai, et on en constate la présence, soit par un examen microscopique, soit, plus aisément,

*) On en a trouvé quelques beaux échantillons à la Jumpers, à la Wemmer, etc.

par un simple essai au pan, qui isole aussitôt, même quand il s'agit d'un minerai de profondeur, une traînée jaune d'or natif accompagnant une traînée de pyrite qui est également aurifère. Au microscope, l'or libre se montre en lamelles très minces d'épaisseur submicroscopique, transparentes en jaune brun violacé ; quand ces lamelles atteignent l'épaisseur normale des plaques, soit $\frac{1}{100}$ de millimètre, l'or devient opaque, mais se différencie de la pyrite par son éclat plus jaune.

Libre ou combiné, l'or est en relation incontestable avec la pyrite de fer : ce qui est, d'ailleurs, d'accord avec les observations faites dans la plupart des mines du monde entier. Au début des exploitations du Transvaal, on avait pu en douter ; par un phénomène bien connu, le minerai superficiel (jusqu'à une profondeur de 20 à 50 mètres, correspondant au niveau hydrostatique) avait, en effet, subi une altération due au contact des eaux chargées d'oxygène de l'air, et sa pyrite s'était dissoute, laissant à sa place des vides plus ou moins réguliers dans lesquels l'or seul était resté à l'état libre et directement amalgamable, soit simplement sous la forme qu'il avait d'abord dans l'intérieur de la pyrite dissoute, soit parfois avec des dimensions plus fortes, tenant à ce qu'il avait subi une dissolution suivie d'une reprécipitation. En passant au-dessous de ce niveau hydrostatique, on est entré dans le minerai pyriteux (le blue) et la proportion d'or directement amalgamable a fortement baissé ; mais cet or, manquant à l'amalgamation, s'est retrouvé à l'état d'association à la pyrite, d'où on le retire par le cyanure de potassium (*).

(*) On a souvent discuté la question de savoir si l'or était combiné avec la pyrite de fer qui l'accompagne. Le fait que cet or est ici presque totalement soluble dans le cyanure de potassium, alors que la pyrite n'est pas attaquée, semblerait un argument en faveur de l'idée contraire.

Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire d'appuyer de beaucoup de preuves un fait aussi généralement admis que la relation de l'or avec la pyrite : l'une des meilleures, c'est que les concentrés, où se rassemble tout l'or ayant échappé à l'amalgamation, sont exclusivement composés de pyrite ; on peut, d'ailleurs, constater directement au microscope la présence de cristaux d'or, reconnaissables à leur teinte plus jaune, englobés dans de la pyrite. Mais il faut bien remarquer que, réciproquement, toute pyrite du Transvaal ne contient pas nécessairement de l'or ; en sorte que la présence de pyrite abondante dans un minerai et la teinte sombre qui en résulte pour celui-ci, tout en étant de bons indices pour la richesse en or, ne permettent pourtant, en aucune façon, de l'apprécier d'une manière même approximative.

D'ailleurs, d'une façon générale, en disant que l'or est associé à la pyrite, nous n'entendons pas qu'il en dérive par une altération, mais simplement qu'il s'est déposé en même temps par un phénomène corrélatif.

Étant donnée cette relation bien nette de l'or avec la pyrite de fer, notre premier soin doit être évidemment d'étudier la disposition de cette pyrite. Cette étude nous amène à plusieurs constatations fort intéressantes.

La première, c'est que la pyrite est presque constamment en grains roulés et, par suite, que, depuis le moment où elle a cristallisé jusqu'à celui où elle a pris dans le minerai la place où nous la voyons, elle a subi un transport, un charriage ; cette constatation est essentielle parce que, toutes les fois que nous la faisons, nous sommes évidemment forcé d'abandonner une théorie qui aurait pu paraître séduisante, celle du dépôt de la pyrite aurifère par imprégnation postérieure dans des couches perméables, jouant le rôle d'un filtre ou d'une éponge.

Or, l'état roulé de la pyrite est tout d'abord absolument caractérisé, même à l'œil nu, dans deux reefs

situés, l'un au sommet, l'autre à la base de la série, le Black reef d'Orion et le North reef de Rietfontein, où nous l'avons déjà signalé ; dans ces deux cas, les galets de pyrite atteignent 3 à 4 millimètres de diamètre et prennent l'aspect de sorte d'oolithes, dont elles diffèrent par leur section qui ne présente pas une structure concrétionnée ; un diamètre aussi grand, avec une substance aussi friable que la pyrite, conduit même à penser que le charriage a dû être, pour la pyrite en question, très peu prolongé, puisqu'il a pu laisser subsister ces petits galets.

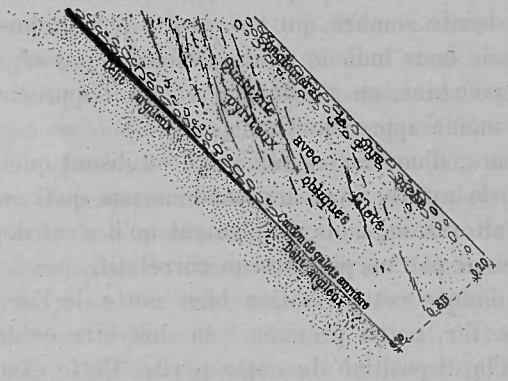


Fig. 13.
Coupe du Main-Reef Leader au 4e niveau Ouest de la City and Suburban, montrant de fausses stratifications pyriteuses.

En dehors de ces deux reefs, il suffit, dans la plupart des minerais de la série du Main-Reef, d'examiner la pyrite seulement à la loupe, ou, à plus forte raison, au microscope pour voir la forme arrondie d'un certain nombre de grains. Cette disposition est en relation avec un autre fait déjà signalé par nous, à savoir l'existence dans certains minerais (Wemmer, 4e et 7e niveaux ; Wolhuter, 5e niveau ouest ; City and Suburban ; Champ d'Or, etc.) de zones pyriteuses, soit parallèles à la stratification, soit obliques, comme on en observe dans toutes les formations sédimentaires troublées (*fig.* 13) (*). Ces zones sont elles-mêmes formées de grains de pyrite roulés.

On doit donc en conclure, de toute nécessité, que le charriage a joué un rôle et un rôle important dans l'arrivée de l'or au milieu du minerai actuel.

Mais, d'autre part, la pyrite cristallisée, formant des plages secondaires parfois moulées sur les grains de quartz, est également très fréquente dans ces minerais (**) : ce que nous pourrons, il est vrai, expliquer par une recristallisation secondaire qui constitue, on le sait, un phénomène très habituel pour certaines substances comme la silice, la pyrite de fer, etc. (***), mais ce qui peut également correspondre à d'autres actions plus complexes.

En outre, cette pyrite n'est que très exceptionnellement stratifiée : il n'arrive presque jamais qu'elle se rencontre en une couche ou en un lit : mais elle est disséminée en tous sens au milieu de la masse de conglomérats, aussi bien à la base qu'au sommet, contrairement à toutes les règles observées dans les gisements d'alluvions aurifères (****).

(*) Cf. fig. 4, p. 81. On peut citer, dans le même ordre d'idées, par exemple à la New Crœsus, sur le Main-Reef, 3e niveau ouest, la présence de gros galets plats inclinés obliquement sur la strate.

(**) Voir, par exemple, 1453-1, 1454-2 : on trouve, fréquemment aussi, dans les dykes éruptifs qui recoupent les gites, de la pyrite cristallisée (1453, 3 et 4, dykes du bloc 1 de Durban Roodeport), etc. On y a également constaté la présence de traces d'or, peut-être empruntées aux couches traversées.

(***) Dans les placers aurifères de Californie, on trouve, à la base, de la pyrite cristallisée sur place par action secondaire. Il faut bien s'habituer à cette idée que les minerais métalliques, la pyrite de fer et même l'or sont beaucoup plus faciles à remettre en mouvement par dissolution qu'on ne le supposait jadis. Pour l'or notamment, quand même les concentrations géodiques en veinules sur les affleurements des quartz aurifères d'Australie ne le prouveraient pas surabondamment, nous en aurions une preuve directe dans la facilité avec laquelle se réalise aujourd'hui l'opération de sa dissolution dans des liqueurs extraordinairement faibles de cyanure de potassium. La dissolution s'obtient également dans les chlorures, nitrates, etc.

(****) Voir plus haut note (*) page 54.

L'une des dispositions les plus habituelles de cette pyrite est même de former une enveloppe autour des galets; en sorte que, dans la zone d'altération superficielle, où ces galets se détachent aisément de la masse on trouve parfois, dans le vide laissé par le galet retiré, un enduit aurifère ; il semble donc, dans ce cas, que la surface des galets ait eu sur la pyrite une action précipitante, comme on en constate une dans tous les filtres à galets, par lesquels on fait passer une dissolution métallique ; et ces divers faits, dont nous aurons à tenir compte, joints à l'observation fondamentale que les galets ne contiennent jamais d'or, nous amèneront à penser qu'il y a eu, dans cette formation (comme on l'a d'ailleurs souvent admis aussi, même pour les placers), autre chose qu'un simple phénomène de transport et de préparation mécanique de filons de quartz aurifère détruits.

Pour déterminer ce qui est relatif aux minerais, nous ajouterons seulement qu'on y trouve assez souvent des développements de mica secondaire ou de talc le long des fissures (*), du mica blanc microscopique réparti dans la roche, et des veines de quartz blanc laiteux de 6 à 10 centimètres, contenant parfois divers sulfures métalliques ou même de l'or cristallisé, bien qu'on les considère, d'une façon générale, au point de vue pratique, comme stériles.

En dehors de l'or et de la pyrite de fer, qui peut arriver à constituer 30 p. 100 de sa masse, le minerai du Witwatersrand est remarquablement pauvre en autres métaux : ce qui contribue peut-être à la facilité de son traitement par le cyanure de potassium. D'une façon générale, on nous a dit, dans la plupart des mines, qu'on n'y avait jamais reconnu la présence d'aucun métal, si ce n'est de traces d'argent ou de cuivre, ces dernières parfois visibles sur le zinc qui précipite l'or de sa dissolution

(*) Voir, par exemple, les échantillons 1453-2, 1451-1, etc.

cyanurée (*). Nous avons constaté le fait nous-même sur des concentrés venant de la Wemmer et tenant 9 grammes d'or à la tonne, qui ne renferment pas trace de cuivre, de zinc et de plomb; l'analyse faite à l'École des Mines a seulement trouvé 4 p. 100 d'arsenic. C'est uniquement dans les veines de quartz secondaire mentionnées plus haut qu'on trouve parfois d'autres métaux : ainsi nous avons recueilli de la galène et de la blende à la Buffelsdoorn ; de la chalcopyrite à la Robinson; des cristaux de pyrite et de blende à la Crœsus (3e niveau est, sur le South reef). M. Schmeisser a signalé, en outre (**), la présence d'un peu de blende à Alexandra Estate et Rietfontein et des traces d'antimoine dans l'ouest du Rand. Enfin, nous avons signalé plus haut la présence des métaux étrangers dans le minerai, plus réfractaire à la cyanuration, de l'Orion.

Il nous reste à dire un mot d'une question qui présente un intérêt pratique aussi bien que théorique évident : ce sont les modifications en profondeur, non de la teneur du minerai qui nous occupera seulement plus tard, mais de la structure du conglomérat, qui lui est, en toute hypothèse, — soit qu'il y ait eu précipitation contemporaine de l'or et des galets, soit qu'on ait affaire à une imprégnation postérieure, — intimement liée. Nous nous sommes demandé, et nous avons cherché à observer dans toutes les mines que nous avons visitées si, à mesure que l'on s'enfonçait, il ne se produisait pas quelque changement dans la structure, la dimension, l'état plus ou moins arrondi des galets, changements qui auraient pu être des indices d'une modification corrélative dans les conditions ayant produit le dépôt aurifère.

Il y a, au point de vue de l'interprétation géologique

(*) Voir par exemple à l'United Main-reef Roodeport.
(**) *Loc. cit.*, p. 55.

des phénomènes, une telle difficulté à concevoir exactement comment des formations de conglomérats, c'est-à-dire de galets, supposées littorales, ont pu s'étendre, comme nous le constatons ici, sur des dizaines de kilomètres de large, qu'il importe de vérifier exactement les faits et de s'assurer, avant tout, si l'on n'est pas le jouet d'une illusion.

Et cependant déjà l'étude générale du pays, en nous montrant l'existence d'un grand synclinal, sur les deux flancs duquel on retrouve des dépôts de quartzites et de conglomérats identiques, rend bien vraisemblable le raccordement en profondeur de ces deux zones à plongements inverses par des couches semblables qui doivent les prolonger des deux parts.

En outre, on peut faire une remarque également théorique, — sur laquelle notre ami, M. Brisse, Ingénieur des Mines, ayant visité le Transvaal peu avant nous, avait appelé notre attention, — c'est que l'affleurement actuel, représentant l'intersection par un plan horizontal d'une couche plissée et gondolée, coupe celle-ci suivant une ligne qui est certainement très loin d'être parallèle au rivage hypothétique ancien, de telle sorte que des points successifs pris sur cet affleurement se trouvent, par rapport à ce rivage, dans des conditions aussi différentes que deux points pris à divers niveaux sur l'inclinaison d'une couche ; notamment, dans les parties très redressées, l'action d'érosion, qui a produit la surface actuelle du sol, a dû enlever une portion beaucoup plus forte des couches aurifères que dans les parties horizontales. Si l'on joint à cela que nous ne savons, en aucune façon, de quel côté ni avec quelle direction se trouvait le rivage, puisque l'allure actuelle résulte d'un plissement très postérieur au dépôt, on voit qu'il n'y a aucune raison pour supposer *a priori*, suivant l'inclinaison des reefs, des variations d'une autre nature que celles reconnues suivant leur direction, c'est-à-dire des alternatives de zones à galets plus gros

ou plus petits, plus anguleux ou plus ronds, plus riches ou plus pauvres, se succédant sans aucune loi.

C'est ce que l'expérience nous a semblé bien confirmer dans les travaux actuels ; nous n'avons observé nulle part qu'il y eût, à mesure qu'on s'approfondissait, une diminution progressive de la dimension des galets, un changement dans le nombre des galets anguleux mêlés aux galets arrondis, comme cela aurait pu se produire si l'influence d'un éloignement croissant à partir du point d'origine s'était fait sentir. Quant à la grosseur, nous nous contenterons de citer au huitième niveau ouest de la Wemmer dans le South reef, au septième ouest dans le Main-Reef Leader, la présence de très gros galets dépassant 7 centimètres, que nous n'avions pas vus dans les niveaux supérieurs.

D. — Teneur en or des minerais. Ses variations suivant la direction ou l'inclinaison des couches (deep levels).

La teneur des minerais d'or du Transvaal donne lieu à un certain nombre d'observations générales, par lesquelles nous croyons devoir débuter.

Lorsqu'on commence à visiter les mines de ce pays avec la légère défiance, plus ou moins accentuée suivant les cas, qu'on apporte généralement en venant de France pour l'appréciation d'une mine d'or exotique, on est désagréablement surpris par ce fait, avec lequel l'habitude finit par se familiariser, c'est qu'il est absolument impossible d'arriver à reconnaître sûrement à l'œil un minerai à 3 kilogrammes d'or par tonne d'un minerai à 10 grammes, et que les prises d'essai, même les plus soignées, si elles ne sont très souvent répétées sur une couche, ne peuvent donner qu'une idée tout à fait approximative, et souvent même erronée, de sa valeur : en sorte que l'ingénieur le plus

consciencieux, s'il n'a le droit et le temps de se fixer à demeure sur une mine, ne peut arriver à se faire une idée personnelle et indépendante sur la valeur de ses minerais ; il n'existe qu'un moyen vraiment sérieux d'être édifié, c'est d'examiner les résultats d'un broyage en grand, suffisamment prolongé et exécuté dans les conditions réelles de la pratique, c'est-à-dire sans choisir exclusivement, comme il est si facile à un directeur de mines de le faire, les parties vraisemblablement les plus riches, connues d'après les essais de laboratoire ; la conséquence, c'est qu'arrivant déjà avec un scepticisme très exagéré on est obligé de débuter par une série d'actes de foi.

L'impossibilité de reconnaître même approximativement d'après leur aspect la valeur des minerais du Witwatersrand tient à ce que, nulle part, comme nous l'avons dit, l'or n'est visible ; la pyrite, à laquelle ce métal est généralement associé, n'est qu'un indice insuffisant de sa présence puisque, s'il n'y a guère d'or sans pyrite, il y a, par contre, très souvent de la pyrite sans or ; enfin l'on voit fréquemment les hommes les plus expérimentés du pays se tromper sur l'aspect réputé par eux favorable (good looking), consistant dans l'existence d'une pâte sombre, pyriteuse, englobant des galets suffisamment gros et bien espacés sans être trop disséminés.

Quant au peu de valeur d'une prise d'essai isolée, elle tient à l'irrégularité (d'ailleurs toute naturelle) de ces gisements, qu'on a le tort en France de croire géologiquement et minéralogiquement constants dans leur allure, parce qu'industriellement ils donnent des résultats assez réguliers et continus (surtout par comparaison avec les autres filons d'or connus et exploités avant eux) (*).

Mais, sur un reef quelconque du Witwatersrand,

(*) Voir, par exemple, les graphiques de teneurs de la Pl. VI.

— et l'examen de n'importe quel plan d'essai le montre immédiatement, — on a, à quelques centimètres de distance, sans indice apparent, des variations de 2 grammes à 100 grammes d'or à la tonne ; de manière que la prise d'essai la plus soigneusement faite, suivant qu'elle aura été prélevée en l'un ou l'autre de ces points, donnera des résultats tout à fait contradictoires. Et, pour le dire en passant, c'est, croyons-nous, une raison pour n'attacher qu'une importance restreinte à certaines analyses de minerais faites dans les traçages des mines nouvelles, analyses dont les résultats, trop bruyamment annoncés, ne prouvent, soit en bien, soit en mal, que fort peu de chose, si l'on n'en a pas une série très prolongée.

Puisque nous avons abordé cette question des variations locales dans la teneur en or, variations que les rapports, même les plus impartiaux, sur le Transvaal, ont le tort de ne pas laisser soupçonner, nous devons expliquer comment s'est créée, au contraire, pour ces gisements, une réputation universelle de régularité extrême qui, dans une certaine mesure, correspond à un fait réel et, pour une autre part, est obtenue par des procédés factices, parfaitement justifiés sans doute presque toujours, mais à la condition qu'on les connaisse et qu'on n'en interprète pas inexactement les conséquences.

Il se présente, dans ces bancs de conglomérats aurifères du Transvaal, ce fait singulier, presque paradoxal, que, la teneur y étant incessamment variable d'un point à l'autre, il s'établit néanmoins, quand on considère une longueur suffisante, une certaine teneur moyenne, relativement constante dans chaque mine ou chaque quartier de mine.

Cette constance, très approximative d'ailleurs, tient, en partie, au caractère sédimentaire des gisements ; l'illusion en est, de plus, produite par la dimension extraordinairement restreinte (et à laquelle on ne songe pas, en

général, tout d'abord) des concessions les plus anciennement connues. Par exemple, la Pioneer a 100 mètres de long, suivant l'affleurement ; la Worcester ou la Bonanza en ont 250 ; la Wemmer, moins de 500 ; la City and Suburban, 700 ; la Crown reef, 900 ; la Robinson, 1.100 ; il est évident que, plus l'étendue des travaux est petite, plus on a de chances d'y rester tout le temps dans une même zone géologique, où la métallisation aurifère s'est faite dans des conditions comparables, en sorte que les résultats du traitement d'une mine donnée pourront demeurer longtemps à peu près semblables. Mais il ne faut pas exagérer même cette constance, ramenée à ces limites restreintes ; car il arrive, malgré tout, bien souvent, que, de l'est à l'ouest d'une concession ou d'un niveau au suivant, on voie, soit en mieux, soit en plus mal, des variations considérables. Comme il est naturel de le prévoir, c'est le premier genre de variations qui vient le plus souvent à la connaissance du public.

Ainsi, à la mine de Witwatersraud, les teneurs du premier niveau avaient fait considérer, par un célèbre ingénieur américain, la mine comme sans aucune valeur ; dans le quartier ouest, en particulier, on avait, sur une grande étendue, des teneurs de moins de 10 grammes ; au deuxième niveau, dans la partie correspondante, on a eu, au contraire, des teneurs de 70 ou 80 grammes, et nul ne peut dire encore si le troisième et le quatrième niveau ressembleront au premier ou au second.

A la Ferreira et à la Jubilee, nous avons donné plus haut un tableau des teneurs moyennes par niveau, teneurs qui varient, d'un niveau au suivant pour la même couche, dans la proportion du simple au triple.

De même, à la Bonanza, on a trouvé, sur le South reef, au troisième niveau, — que l'on a, en conséquence, aussitôt développé activement, — une teneur moyenne aux essais, de 50 grammes ; les deux premiers niveaux, sur lesquels on

n'a fait que fort peu de travaux, avaient paru assez pauvres.

A la Geldenhuis Estate, le phénomène inverse s'est produit : jusqu'en mars 1892, on avait eu, dans la zone oxydée, un rendement moyen de 30 grammes par tonne ; puis la teneur s'est modifiée, tant parce qu'on est entré dans le minerai pyriteux que parce qu'ayant augmenté le nombre des pilons, on s'était mis à broyer, outre les minerais riches, des minerais pauvres, d'abord négligés ; dans ces conditions, elle était, en juin 1893, de 24 grammes et, jusqu'à la fin de 1894, sans que l'exploitation se fût modifiée, on l'a vue tomber peu à peu à 12 grammes ; aujourd'hui, on est remonté environ à 18, malgré l'installation d'une batterie plus forte où l'on passe plus de minerai pauvre, mais, il est vrai, en tenant compte des résultats de la cyanuration qui est, sur cette mine, d'une installation assez récente.

Nous pourrions multiplier les exemples de ce genre : il y a partout des quartiers plus ou moins riches, plus ou moins pauvres, se succédant sans aucune loi, et l'on ne saurait, assurément, qualifier de constante une teneur moyenne qui varie dans de telles proportions ; néanmoins, il est parfaitement exact que les mines d'or du Witwatersrand sont encore, et malgré tout, à ce point de vue, avantageusement favorisées par rapport aux autres mines d'or filoniennes connues jusqu'alors, où les soubresauts sont infiniment plus prononcés et où, chose plus grave, un appauvrissement à peu près certain se produit au-delà d'une certaine profondeur. Mais surtout, et c'est le point sur lequel nous voulons insister, la plupart des mines du Transvaal ont adopté une ligne de conduite très sage, qu'il est intéressant de connaître, pour remédier à ces variations dans la teneur, éviter les à-coups dans le rendement et régulariser les bénéfices au grand avantage des actionnaires.

Le système consiste, en premier lieu, à avoir un traçage,

un développement de galeries très en avance sur l'abatage du minerai, de manière à pouvoir placer sans cesse des chantiers à son choix sur un très grand nombre de points différents, sans nuire pour cela à la bonne conduite de l'exploitation (*).

D'autre part, chaque mine possède ce que l'on appelle un plan d'essais, c'est-à-dire un plan des travaux, sur lequel on reporte au jour le jour : 1° les résultats d'analyses(**) faites sur les minerais prélevés de 10 mètres en 10 mètres ; 2° et les épaisseurs de minerai correspondantes, en sorte que l'on y trouve comme une image en raccourci de la mine, avec toutes les particularités des couches aurifères.

En outre de ces plans d'essais (dont on pourrait peut-être essayer de tirer quelques conclusions théoriques), tous les ingénieurs remplissant bien leurs fonctions procèdent constamment à des essais, plus sommaires, mais très rapides, au moyen du pan américain (***), qui donnent, avec un peu d'habitude, une approximation déjà suffisante. Par ces divers moyens, ils peuvent donc savoir, à chaque instant, où se trouvent dans leur mine les quar-

(*) La pénurie de main-d'œuvre a, dans les derniers mois de 1895, amené à réduire ces travaux de développement préalable, pour ne pas diminuer les bénéfices apparents : ce qui pourrait bien produire, un jour ou l'autre, quelques surprises fâcheuses.

(**) Les analyses ou essais donnent, d'une façon constante, des résultats supérieurs à ceux de la pratique; mais leur moyenne permet néanmoins de prévoir, dans une certaine mesure, le rendement industriel.

L'existence de ces plans très détaillés, très manifestement sincères (sauf restriction occasionnelle sur la façon dont on procède aux prises d'essais qui en sont la base), la facilité avec laquelle on les communique aux visiteurs, ainsi que tous les livres de laboratoire par lesquels on peut les contrôler, sont, pour le dire en passant, une des choses qui contribuent le plus à inspirer confiance dans le caractère général de la direction technique et industrielle des mines.

(***) Large sébille en fer dans laquelle on met le minerai broyé, qu'on agite ensuite en y ajoutant de l'eau peu à peu jusqu'à ce qu'on ait fait sortir tout le quartz plus léger et gardé seulement la pyrite plus lourde avec l'or qui apparaît.

tiers riches et les quartiers pauvres: ce qui leur permet, en plaçant convenablement leurs ouvriers, de régulariser le rendement suivant le désir des administrateurs et des actionnaires, pour lesquels toute diminution de teneur accidentelle (si prévue qu'elle doive être, en réalité, dans une chose aussi inhomogène qu'un gisement minier) nécessite toujours de longues explications (*). Au besoin, si ce procédé ne suffit pas, on a, en réserve, des tas de minerai particulièrement riche dont on broie une partie avant la fin du mois pour relever le rendement ; ou encore, en grattant plus ou moins les plaques d'amalgamation, on peut y laisser, dans un mois prospère, un peu d'or qu'on retirera ensuite.

Ainsi que nous l'avons dit, nous sommes loin de critiquer ces artifices, qui ont pour but, dans une industrie aussi exposée au grand jour que celle des mines d'or, et dont les résultats sont si fréquemment publiés, si passionnément (et souvent si inintelligemment) commentés, d'éviter les engouements excessifs comme les découragements sans cause; cependant, ils ont, comme on le conçoit aussitôt, deux inconvénients.

D'une part, si, dans une mine très étendue, on peut, presque toujours, placer ses chantiers d'abatage de manière à réaliser à peu près cette constance invraisemblable

(*) La grande publicité à laquelle sont soumises les mines du Transvaal, les spéculations auxquelles elles donnent lieu et même le faible prix initial de leurs actions, qui les disperse entre les mains d'une foule de personnes non éclairées, imposent aux directeurs des mines de nombreuses sujétions, dont celle de régulariser la teneur dans une mesure que la nature des gisements permet à peine, est peut-être la moins préjudiciable. Ce côté commercial des entreprises et le souci de faire rendre au capital engagé, non le maximum absolu de l'intérêt, mais le maximum dans le moindre temps occupent, on le sait, bien plus que le côté technique de l'exploitation, l'attention des ingénieurs anglo-saxons, qui n'ont, en conséquence, bien souvent qu'une instruction minière assez rudimentaire.

dans la teneur (*), il n'en est parfois plus de même pour les petites; on a vu alors, dans telles mines qu'il nous serait facile de citer, les directeurs, s'affolant à l'idée de voir leur teneur baisser dans les publications mensuelles, abattre sans réfléchir tout ce qu'ils avaient de riche dans leur mine et, si la zone pauvre se prolongeait trop longtemps, arriver un beau jour à un effondrement qu'ils auraient évité en avouant aussitôt un appauvrissement momentané dans leur minerai.

D'autre part, on conçoit le parti que pourraient tirer des gens peu scrupuleux d'une méthode consistant à exploiter tantôt les quartiers riches, tantôt les pauvres, suivant qu'ils voudraient faire monter ou baisser le cours de leurs actions; mais, sur ce point, nous devons ajouter aussitôt que de pareilles manœuvres nous paraissent, au Witwatersrand, être beaucoup plus rares que dans nombre d'autres régions aurifères; et surtout, quand elles se produisent, le rapprochement très grand des diverses concessions encastrées les unes dans les autres, les déplacements presque constants des ingénieurs, qui passent incessamment de la direction d'une mine à celle d'une autre, les contacts fréquents du personnel, etc., font qu'elles arrivent très vite à la connaissance du public : ce qui en détruit l'effet.

Précisément peut-être parce qu'elles ont senti qu'elles avaient besoin d'inspirer la confiance, les Compagnies minières du Transvaal ont pris le parti de faire ce que l'on ne fait peut-être dans aucun autre district minier du monde et ce que les difficultés de la concurrence commerciale ne permettraient, d'ailleurs, pas pour une autre substance que pour l'or : ouvrir à tous largement les portes des mines, ateliers, laboratoires, etc., tout montrer, depuis leurs plans d'essais jusqu'à leurs prix de revient et publier dans des rapports très détaillés, au moins annuels, parfois mensuels, tous les résultats de leurs exploitations. Dans ces conditions — et sauf quelques restrictions dont nous avons déjà indiqué les principales, sauf aussi le cas de diverses mines, où l'on paraît moins désirer la grande lumière, — on est forcément amené à avoir une certaine foi dans le caractère général de cette industrie (*).

(*) Jusqu'ici, les perfectionnements progressifs du traitement, en permettant de tirer un produit de plus en plus grand de minerais comparables, ont singulièrement favorisé cette tâche.

Au sujet de la confiance qu'on peut avoir dans les publications quasi-officielles, auxquelles donne lieu l'industrie des mines d'or (**), nous n'avons qu'une observation à faire, c'est relativement au nombre de tonnes broyées, d'où découle directement la teneur en or annoncée : ce nombre, qui est donné avec une grande précision apparente, ne correspond, en réalité, qu'à une estimation approximative faite d'après le nombre des wagonnets, sans que ceux-ci soient jamais pesés ni même puissent l'être pratiquement. Il en résulte qu'un directeur, désireux de se faire bien voir en paraissant travailler très économiquement, peut être amené à exagérer le poids du minerai contenu dans ses wagonnets (par exemple, en ne les faisant remplir qu'incomplètement et continuant à leur supposer le même poids conventionnel que s'ils étaient pleins), de telle sorte que, ses frais réels paraissant répartis sur un plus grand nombre de tonnes, les dépenses par tonne de minerai abattu et traité aient l'air d'être très restreintes ; il peut également, par une opé-

(*) Bien entendu, et nous le répétons une fois de plus, il ne s'agit ici que de l'industrie de l'or et non des opérations financières qui peuvent se greffer sur celle-ci, au Transvaal ou en Europe.

(**) La Chambre des Mines de Johannesburg, qui fait la plupart de ces publications, n'a aucun caractère officiel et aucun titre pour forcer qui que ce soit à lui communiquer les résultats de son exploitation ; mais, en pratique, elle a pour adhérents la plupart des Sociétés minières.

ration inverse, forcer la teneur apparente au détriment du prix de revient : c'est peut-être là une des raisons pour lesquelles ces prix de revient varient du simple au double entre des mines analogues, et pourquoi, indépendamment d'un certain gaspillage qui est réel dans les Compagnies très riches, ce prix est souvent d'autant plus fort que le minerai est plus riche.

Laissant de côté maintenant ces questions d'ordre général, nous allons, par quelques chiffres, donner une idée de la teneur des minerais dans les diverses mines du Rand.

Cette teneur, ainsi que nous l'avons dit, peut être appréciée de deux façons, soit par les essais de laboratoire, soit par le rendement industriel qui varie généralement entre 50 et 85 p. 100 du chiffre calculé d'après la moyenne des essais. Le rendement industriel lui-même comprend plusieurs parties: l'or obtenu sur les plaques d'amalgamation, puis celui extrait des résidus ou tailings par la cyanuration, et, dans quelques mines, celui retiré des concentrés par la chloruration; enfin, en ce moment même, on essaye d'extraire une partie de l'or contenu dans les dernières boues fines, ou slimes, dont toutes les mines ont de grandes réserves accumulées.

Un tableau ci-joint donne les rendements industriels des diverses mines en 1895(*); nous avons également essayé de reporter ces teneurs sur le graphique de la Planche III, afin de mettre en évidence, d'une façon grossière, les zones pauvres et riches du Rand.

En ce qui concerne ces rendements, il convient de faire une remarque capitale, c'est qu'ils ne peuvent être comparés les uns aux autres que d'une manière tout à fait approximative. En effet, si une mine n'exploite qu'une

(*) Toutes les évaluations faites au Transvaal sont comptées en tonnes courtes américaines (short tons) de 2.000 livres ou 907 kilogrammes, c'est-à-dire inférieures d'environ 1/10 à notre tonne métrique; c'est un détail que l'on oublie souvent. Les résultats que nous donnons ont tous été convertis en tonnes métriques de 1.000 kilogrammes.

Tableau donnant les résultats moyens des six mois avril-septembre 1895 d'après les tableaux publiés par la Chambre des Mines (*).

NOMS des COMPAGNIES	TENEUR au broyage par tonne métrique gr.	TENEUR aux tailings par tonne métrique gr.	TENEUR totale par tonne broyée	OBSERVATIONS
Champ d'Or	17.22	8.61	22.90	(*) Nous nous sommes contenté, pour obtenir ces chiffres, de convertir la moyenne résultant des tableaux officiels en tonnes métriques et grammes. Pour déterminer la teneur totale, nous avons tenu compte de la proportion, généralement admise, des tailings traités par rapport aux tonnes de minerai broyées, proportion qui est des deux tiers. C'est pourquoi la teneur totale n'est pas la somme des deux colonnes précédentes.
City and Suburban	12.10	6.95	16.69	
Crown reef	14.31	8.03	19.61	
Durban Roodepoort	16.44	10.10	23.10	
Ferreira	36.54	13.96	45.75	
Geldenhuis Estate	12.54	7.47	17.47	
Geldenhuis Main reef	14.35	11.43	21.90	
Ginsberg	17.07	8.91	22.94	
Glencairn	14.25	10.75	21.34	
Georges Goch	10.50	10.27	17.27	
George and May	9.55	10.12	16.23	
Henry Nourse	22.21	13.22	30.93	
Johannesburg Pioneer	23.69	14.72	33.40	Il est à noter que ces résultats ne sont pas absolument comparables, l'or produit par les diverses mines n'étant pas également fin ; ainsi, pour l'or résultant de l'amalgamation, en septembre 1895, il ressort des mêmes tableaux que l'once d'or (31gr,103) a valu 91 fr. 30 au Champ d'Or, 88 fr. 20 à la Ferreira, 94 fr. 50 au Nigel, 90 fr. 10 à la Robinson.
Jumpers	15.54	6.21	19.63	
Jubilee	16.53	8.38	22.05	
Lancaster	9.60	8.09	14.93	
Langlaagte Estate	13.01	5.11	16.38	
Langlaagte Bl. B.	9.37	3.86	11.91	
Langlaagte Royal	6.32	5.39	9.87	
Langlaagte United	7.81	9.03	13.78	
May consolidated	11.91	7.76	17.03	
Meyer and Charlton	18.54	7.52	22.54	
Metropolitan	9.97	6.57	14.31	
New Heriot	16.53	15.16	26.53	
New Primrose	11.32	7.80	16.47	
New Chimes	16.47	5.23	19.91	
New Rietfontein	15.67	7.25	20.44	
New Klein fontein	11.81	5.31	15.31	
New Crœsus	7.03	3.64	9.43	
Nigel	26.65	27.62	44.87	
Orion	19.54	37.65	44.47	
Princess Estate	16.53	7.76	21.65	
Paal Central	13.47	9.50	19.73	
Porges Randfontein	17.33	4.46	20.27	
Robinson	32.58	8.83	38.40	
Salisbury	16.70	9.12	22.71	
Simmer and Jack	16.38	7.07	21.12	
Stanhope	12.26	10.36	19.20	
United Main reef	19.21	8.95	25.11	
Van Ryn	15.82	6.16	19.88	
Vogelstruisfontein	7.00			
Wemmer	24.38	10.93	31.58	
Worcester	28.62		28.62	
Wolhuter	15.51	9.02	21.46	

De même, l'or tiré par la cyanuration des tailings a valu, dans le même mois, 83 fr. 10 l'once à la Crown reef, 75 fr. 20 à la Jubilee, 83 fr. 80 à la Robinson.

Néanmoins, ces différences d'une mine à l'autre sont du même ordre que celles qui se produisent dans une même mine d'un mois au suivant et on peut, par suite, considérer les résultats ci-joints comme suffisamment approximatifs.

couche riche, en laissant de côté pour l'avenir les couches pauvres (ce qui arrive, par exemple, quand elle ne dispose que d'une très petite batterie), la teneur apparente moyenne de ses minerais paraîtra plus forte que dans la mine voisine où l'on aura commencé l'exploitation en grand de quelque reef relativement pauvre, comme le Main-Reef sur la Robinson, la Jubilee, etc., le minerai de ce dernier venant s'ajouter au minerai extrait des couches riches; d'une façon générale, on dit dans le Rand, sous une forme un peu bizarre au premier abord et dont il ne faudrait pas exagérer les conséquences, qu'augmenter le nombre des pilons d'une mine, a pour effet d'accroître la quantité d'or qui y est contenue, tout en diminuant la teneur de ses minerais. De même encore, si l'on fait un triage très complet, on aura une teneur plus forte à la tonne broyée, mais se répartissant sur un nombre de tonnes moindre.

Cette observation s'applique également aux comparaisons que l'on peut établir entre les teneurs du minerai d'une même mine à diverses époques, et nous sommes surpris que des esprits éminents, sans doute faute de renseignements suffisants, n'en aient pas tenu compte, lorsqu'ils ont cru pouvoir conclure, de la diminution des rendements industriels avec le temps, que les mines du Transvaal allaient en s'appauvrissant en profondeur. Cette diminution des rendements résulte uniquement de ce que, les frais d'exploitation se réduisant de plus en plus et les dimensions des batteries augmentant sans cesse, on est amené à extraire des minerais de plus en plus pauvres, jusque-là négligés : ce qui, naturellement, se traduit par une diminution de teneur moyenne, mais aussi par une augmentation définitive de la production d'or.

Nous avons cherché à résoudre cette question des variations possibles de la teneur en profondeur, si importante pour l'avenir du Rand, et nous nous sommes heurté

précisément à cette difficulté que les rendements pratiques, résultat d'un mélange de minerais de toutes provenances, ne donnaient aucun renseignement à cet égard. Faute de mieux, nous avons étudié beaucoup de plans d'essai en les traduisant au besoin en graphiques pour les rendre plus parlants, et nous croyons pouvoir en conclure que les variations en inclinaison sont du même ordre que les variations en direction, c'est-à-dire qu'on trouvera des zones pauvres et riches réparties sans aucune loi, mais qu'aucun indice ne fait présumer (au moins dans les limites où les difficultés d'exploiter à de grandes profondeurs forceront à se restreindre en tous cas) un appauvrissement progressif des couches (*).

Les apparences de variations suivant une loi théorique, que l'on a cru pouvoir déduire d'observations ayant porté sur un champ trop restreint, disparaissent dès qu'on étend davantage ses études.

Et il en est de même pour la plupart des prétendues règles sur lesquelles on a prétendu se guider pour prévoir l'existence de zones riches dans un sens ou dans l'autre.

Parmi celles-ci, l'une des plus répandues et des plus approximativement exactes est celle qui admet une certaine relation de la teneur avec l'épaisseur du reef, un même reef étant d'autant plus riche (à la tonne de minerai) qu'il est plus mince. On a même été jusqu'à dire que, dans un reef large, la quantité d'or totale était moindre que dans les parties étroites de la même couche. Si ce dernier fait était réel (ce qui ne résulte pas de nos observations personnelles), il faudrait sans doute en conclure que, dans ces parties larges, on abat de grandes quantités d'intercalations gréseuses à peu près stériles et rejetées ensuite par un triage, dans lequel on doit perdre un peu d'or.

(*) Nous avons déjà donné (pages 80 à 82) quelques chiffres à ce sujet.

Certains directeurs du Rand croient, d'autre part, qu'il existe au-dessous de la zone d'oxydation superficielle, une partie spécialement riche, comme si un peu de l'or de cette zone oxydé avait été entraîné plus bas à l'état de dissolution et était revenu y cristalliser ; le fait ne nous paraît nullement confirmé par l'expérience.

On peut encore se demander si la richesse serait en relation soit avec la pente des couches, soit avec la présence des dykes de roches éruptives, soit avec l'allure des failles.

Dans certaines mines, comme la Simmer and Jack, il semble, en effet, que les parties très redressées soient plus riches que les parties plates, et l'examen de la Planche III paraît également montrer une vague correspondance entre les maxima de la couche des teneurs et la présence de couches verticales : ce qui laisserait supposer que cette inclinaison a joué un rôle au moment de la formation aurifère, autrement dit qu'elle était esquissée déjà d'une façon quelconque ; mais les exceptions à cette règle sont singulièrement nombreuses : il suffit de citer les reefs riches et très plats du Nigel, de certains quartiers de la Modderfontein, de Durban Roodeport, etc.

La présence des dykes (*) a été de même considérée comme un bon indice, en partant uniquement de cette remarque très sommaire que, dans la région riche de Robinson, Ferreira, etc., ces dykes étaient nombreux. En réalité, lorsqu'on observe un plan d'essai quelconque, sur lequel les dykes sont marqués, on ne voit jamais aucun enrichissement le long de ces dykes, ni à leur voisinage ; et il ne faut pas oublier que les dykes, si nombreux

(*) Les dykes sont formés, en principe, de diabases ophitiques, porphyrites, etc., assez analogues aux roches qui accompagnent les grands dépôts de pyrite de fer cuivreuse dans la province d'Huelva, en Espagne; mais on appelle également dykes, à Johannesburg, des remplissages de failles quelconques, brèches, quartzites laminés et schisteux, etc.

dans certaines mines du Witwatersrand, recoupent et rejettent, pour la plupart, les couches aurifères, au dépôt desquelles ils sont par suite postérieurs. Si l'on y a exceptionnellement rencontré des traces d'or (Wemmer, Rietfontein, etc.), c'est peut-être de l'or emprunté aux strates traversées. Quant à la pyrite de fer, elle y est, il est vrai, fréquente à l'état cristallisé ; mais c'est là un fait ordinaire dans les roches basiques de la même famille.

Cependant, il ne serait pas impossible, à la rigueur, qu'il existât dans le Witwatersrand certains dykes plus anciens ayant joué dans la formation un rôle restant à déterminer. Si nous faisons cette restriction, ce n'est pas seulement par suite de cette conception théorique qui nous pousse à rattacher d'une façon générale les gisements métalliques aux roches éruptives, mais parce que, dans un cas particulier, pour les diabases amygdaloïdes du Klipriversberg et le Black reef, cette relation paraît véritablement exister : on trouve, en effet, comme nous l'avons dit, le Black reef à l'Orion mine, comblant des dépressions de la diabase, qui elle-même constitue un important massif est-ouest, probablement à peu près contemporain de la sédimentation des couches. Il ne faut pas oublier que, dans l'Afrique australe, des formations de roches basiques se sont reproduites avec des caractères presque semblables pendant de très longues périodes ; et nous tenons de M. Cecyl Rhodes qu'en un point du Mashonaland, à l'Ayreshere Company, on essaye d'exploiter comme minerai d'or une simple diorite aurifère.

Quant à l'influence parfois attribuée aux failles, elle est d'une autre nature : en juxtaposant deux parties du reef, qui étaient tout d'abord éloignées, et supprimant les intermédiaires, elle peut faire passer brusquement d'une zone riche à une zone pauvre ou réciproquement : d'où cette idée que les zones riches suivent l'allure générale des failles.

Nous noterons, d'ailleurs, à ce propos que l'on a, jusqu'à ces derniers temps, considéré les failles dans le Witwatersrand avec un mélange de terreur et de superstition, qui ne peuvent s'expliquer que par la grande ignorance technique de mineurs improvisés, brusquement arrachés à un comptoir ou à un bureau. On est stupéfait de voir qu'un rejet insignifiant de quelques mètres a été envisagé souvent, suivant le caractère des gens, tantôt comme un cataclysme où la couche aurifère pouvait disparaître à jamais, tantôt au contraire comme un motif d'espérer plus loin quelque richesse extraordinaire.

E. — Origine et mode de formation des dépôts aurifères du Witwatersrand.

Le problème de l'origine des formations aurifères dans le Witwatersrand est des plus difficiles, et nous croyons qu'il apparaîtra tel à quiconque l'abordera sans idée préconçue dans son ensemble, et cherchera à concilier toutes les observations de détail, au lieu d'échafauder rapidement une théorie sur quelques faits particuliers trop généralisés. Nous ne craignons pas de dire que, pendant notre séjour à Johannesburg et même depuis notre retour, en examinant nos minerais au microscope, nous avons changé d'avis plusieurs fois, à mesure que se découvrait à nous une particularité nouvelle à laquelle il fallait trouver une interprétation; et c'est après avoir été forcé d'abandonner toutes les autres hypothèses devant des objections qui nous paraissent irréfutables, que nous sommes arrivé à l'idée, exposée plus loin, dont nous ne dissimulerons pas les points restés obscurs dans notre esprit.

Parmi les faits d'observations principaux décrits précédemment, les principaux, en ce qui concerne l'origine de l'or, sont les suivants (*):

1° Le minerai d'or est un conglomérat ou, rarement, un grès quartzite, dont les éléments roulés, galets et grains de sable, sont presque exclusivement formés de quartz, ou accessoirement de quartzite, et dont le ciment est constitué de silice pyriteuse et aurifère. Les galets de quartz, tantôt bien arrondis, tantôt simplement émoussés aux angles, souvent aplatis, sont de deux natures, les uns blancs bleutés, les autres noirs enfumés, ces derniers étant considérés dans quelques mines, sans que le fait soit bien démontré, comme d'un bon indice.

2° Les couches contenant de l'or en proportion plus ou moins forte, exploitable ou non, sont réparties sur plusieurs milliers de mètres d'épaisseur de terrains formés de grès et de conglomérats, avec rares intercalations de schistes à la base et sans aucun banc calcaire. Les premiers calcaires n'apparaissent qu'au-dessus de la couche aurifère la plus récente reconnue, celle du Blackreef, comme s'il y avait eu, à ce moment, un changement absolu dans les conditions de dépôt du bassin. Ces divers bancs de conglomérats aurifères présentent localement des variations constantes d'épaisseur et de distance entre eux : on les voit s'étirer, parfois se bifurquer pour englober une masse de grès et se réunir plus loin; néanmoins la plupart du temps, un banc de conglomérat ou de grès, qui semble apparaître brusquement, n'est que l'exagération d'une couche précédemment marquée par un simple indice (délit sableux ou cordon de galets disséminés) et la coupe présente, dans l'ensemble, d'un bout à l'autre de la zone aurifère, une certaine constance, la richesse en or semblant, en moyenne, autant qu'on peut

(*) Nous laissons de côté le cas du Blackreef qui nous paraît assez spécial.

en juger d'après des observations encore très incomplètes, toujours localisée dans les mêmes séries de bancs.

3° Les phénomènes mécaniques postérieurs à la formation des conglomérats sont nombreux et nets. En premier lieu, on doit noter, dans cet ordre d'idées, l'inclinaison des couches et leur allure en synclinal E.-O., qui est le résultat d'un plissement postérieur, la pente actuelle des reefs étant absolument incompatible avec les conditions du dépôt. On remarque également : la présence de véritables salbandes argileuses correspondant à des surfaces de glissement et de broyage ; les réseaux de fissures où du quartz, avec cristaux de pyrite de fer, chalcopyrite, galène, blende, parfois or natif, a cristallisé par sécrétion ; les failles, pour la plupart N.-E. — S.-O., et les dykes de roches éruptives, dont un principal, celui du Klipriverberg, paraît avoir eu une certaine relation avec la formation du Blackreef.

4° L'or, dans les minerais, est souvent à l'état libre, mais toujours invisible à l'œil nu ; il est constamment associé à la pyrite sans lui être, ce semble, combiné ; et souvent on peut le voir au microscope en cristaux englobés dans la pyrite même. Cette pyrite, qui arrive aisément à former 5 p. 100 en poids de la roche, est, en général, remarquablement pure et contient seulement par exception des traces de cuivre, plomb et zinc.

5° L'or et la pyrite sont exclusivement dans le ciment des galets quartzeux qui, eux-mêmes, quelle que soit leur taille, n'en contiennent jamais, sauf, très rarement, dans des fissures. Le fait est assez général et absolument constant pour qu'il soit difficile de supposer aux galets de quartzite et à la pyrite aurifère une origine identique, la pyrite résultant de la destruction de filons de quartz métallifère.

6° La pyrite aurifère enveloppe constamment les galets de quartz, sur la surface desquels elle semble s'être

précipitée, ou forme des veinules irrégulières dans le ciment siliceux qui enveloppe les galets. Dans certains cas, elle constitue des veinules zonées, soit parallèles à la stratification générale, soit obliques sur elle et correspondant à une fausse stratification des sédiments. Cette pyrite, examinée à la loupe ou au microscope, apparaît très souvent roulée, notamment dans le cas des veinules parallèles ; parfois aussi elle est bien cristallisée.

7° Il y a une corrélation universellement reconnue entre la dimension des galets et la richesse en or dans une portion limitée des mêmes couches. Les grès fins ne sont que très exceptionnellement aurifères et seulement le long de certains cordons de galets disséminés, peu visibles ; dans les conglomérats eux-mêmes, on considère comme particulièrement riches les couches à gros galets, surtout celles qui se trouvent souvent à la base d'un banc. Les minerais réputés de bon aspect sont ceux à galets un peu gros, assez largement espacés sans l'être trop, dont le ciment présente une teinte sombre, due tant à la nature spéciale des quartz qu'à l'abondance des pyrites.

8° Dans un banc de conglomérats, la richesse en or n'est nullement, comme dans les placers aurifères, concentrée toujours à la base : ou bien elle est répartie uniformément dans toute la masse ; ou, si elle se localise dans un banc, ce banc peut être à la partie supérieure comme à la partie inférieure de la couche, bien que le second cas soit plus fréquent.

9° Dans un même banc, la teneur en or à la tonne paraît, sans que la règle présente une généralité absolue, être d'autant plus forte que l'épaisseur est plus faible, comme s'il n'y avait eu qu'une quantité d'or déterminée à répartir sur toute l'épaisseur du banc.

10° Un certain nombre de reefs, souvent très riches, se trouvent au contact de bancs de schistes, intercalés

entre ceux-ci et les quartzites (East Rand, Van Ryn, Modderfontein, Nigel, Midas, etc.).

Essayons maintenant de voir comment ces divers faits peuvent se concilier dans une même interprétation.

Ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le dire, si nous considérons d'abord la formation des quartzites et conglomérats indépendamment de l'or qui s'y rencontre, nous croyons que l'on a affaire là à des dépôts très étendus, et nullement restreints à la petite cuvette lacustre que l'on a parfois imaginée, dépôts d'origine peut-être marine, ayant commencé par être à peu près horizontaux et devant leur allure actuelle à un plissement postérieur qui y a constitué un grand synclinal N.-E. — S.-O.

Quant à la présence de l'or, qui n'est en aucune façon nécessairement liée au développement de conglomérats et doit, au contraire, selon toutes vraisemblances, constituer un fait relativement local, toutes les hypothèses que l'on peut tenter pour l'expliquer, se ramènent forcément à trois: l'or a-t-il été formé avant, pendant ou après le conglomérat?

Dans la première théorie, que nous avions autrefois admise en écrivant notre ancien mémoire sur le Transvaal et qui a été adoptée également par MM. Schmeisser et Goldmann, or et galets résulteraient de la destruction d'anciens filons de quartz, dont les débris auraient été simplement soumis à un charriage et à une préparation mécanique, c'est-à-dire que l'on aurait affaire à un véritable placer de la période primaire. Comme il est nécessaire d'expliquer ce fait capital et d'observation constante que l'or et la pyrite sont exclusivement dans le ciment, jamais dans les galets, on peut, à la rigueur, ajouter, pour justifier cette thèse, que les parties aurifères des quartz, étant les plus friables, ont été les plus complètement détruites, et que les fragments se sont fendus suivant les veinules de pyrite aurifère constituant des lignes de

moindre résistance, tandis que les noyaux stériles résistaient, ou encore que les galets ont été apportés d'un côté dans le bassin de sédimentation, tandis que le sable fin du ciment, la pyrite et l'or y arrivaient d'un autre.

Dans la seconde supposition, celle de la formation contemporaine de l'or et des sédiments, il y aurait eu, sur une plage marine, où des fragments de quartz d'une origine quelconque étaient triturés et roulés par les vagues, de l'or et du sulfure de fer en dissolution dans l'eau de mer, substances qui se seraient précipitées chimiquement comme les sulfures cuprifères du Mansfeld en Allemagne, ou les nodules plombifères des grès de Commern et de Mechernich, dans la Prusse Rhénane, ou encore les minerais de cuivre associés aux conglomérats du Boleo et, roulées sur place par les vagues, se seraient déposées plus ou moins pêle-mêle avec les galets (*). Pour tenir compte de ce fait caractéristique que l'or est presque exclusivement dans les conglomérats et non dans les grès intermédiaires, on admettrait l'influence d'une préparation mécanique ayant concentré l'or et la pyrite, en leur qualité d'éléments lourds, avec les galets les plus gros, comme cela s'est passé pour tous les dépôts d'alluvions aurifères. Peut-être aussi pourrait-on remarquer que le passage d'un conglomérat à un grès dans une série de dépôts sédimentaires correspond, soit directement à un mouvement du sol, soit à une modification dans le régime des courants (qui a pu être produite par un mouvement du même genre) et supposer, dès lors, que ce mouvement aurait amené chaque fois un épanchement de sources sul-

(*) Le fait que des galets de pyrite, toujours si friables, ont pu résister, donne à penser qu'ils ont été roulés presque sur place et n'ont pas subi le long transport qu'il faudrait supposer s'ils étaient arrivés avec les galets de quartz. D'autre part, l'état anguleux de beaucoup de ceux-ci est peut-être attribuable à ce qu'à peine fragmentés ils se sont trouvés saisis dans un précipité de silice gélatineuse et chargée de sulfure de fer qui se sera formé autour d'eux, en les emprisonnant.

fureuses renouvelant les éléments métallifères en dissolution dans l'eau.

Il n'est pas difficile d'expliquer dans cette théorie la présence de la pyrite cristalline, à côté de la pyrite roulée, soit par une recristallisation dont nous connaissons nombre d'exemples, soit par le cas de grains pyriteux ayant échappé à l'action des vagues. Rien n'empêche non plus de supposer que les eaux chargées de sulfures aient pénétré dans les couches antérieurement déposées et recouvertes par la mer, en circulant de préférence dans les interstices les plus larges produits par les gros galets et se précipitant sur eux : de toutes façons, les surfaces des galets ont dû exercer une action précipitante, et le dépôt a dû se former sur eux, comme on le constate fréquemment pour des cailloux placés dans une eau ferrugineuse ou calcaire, qui se recouvrent bientôt de rouille ou de carbonate de chaux.

La précipitation de l'or en dissolution n'est pas non plus difficile à expliquer, et il n'est pas nécessaire de démontrer la présence de matières organiques réductrices (dont nous avons pourtant signalé des exemples à Buffelsdoorn, à l'Orion, etc.) : l'or est précipité de ses dissolutions par toutes espèces d'influences, entre lesquelles on n'a que l'embarras du choix (*).

Enfin, l'origine première de l'or peut être attribuée soit à des sources chaudes tenant de l'or et de la silice en dissolution, comme celles auxquelles on attribue la formation des quartz aurifères filoniens, soit même à la destruction de filons de ce genre, mais destruction suivie ici d'une dissolution chimique, au lieu d'être limitée à une simple préparation mécanique.

(*) On peut considérer, comme venant à l'appui de cette idée, un fait sur lequel le Dr Koch (*in* Schmeisser, *loc. cit.*, p. 50) a beaucoup insisté et qui résulte de ses observations microscopiques ; c'est que l'or libre des conglomérats n'est pas de l'or charrié, mais de l'or cristallisé par un phénomène secondaire après avoir été en dissolution,

La vraie difficulté, que nous ne nous dissimulons pas, dans cette hypothèse, c'est qu'il faut supposer, pendant le laps énorme de temps ayant dû s'écouler depuis le dépôt de la première couche aurifère de Rietfontein jusqu'à la dernière du Black reef, la présence persistante ou le retour très fréquent dans l'eau de mer concentrée de sulfures de fer et d'or en dissolution.

Enfin, la troisième théorie, qui nous a un moment paru très séduisante, mais que la présence à peu près constante de pyrite roulée dans les minerais nous a forcé à abandonner, c'est que l'imprégnation pyriteuse et aurifère s'est produite postérieurement au dépôt du conglomérat, indépendamment de la nature et de l'origine de ses galets, et seulement en relation avec leur dimension, leur structure physique et leur disposition (*).

Même dans cette hypothèse, on ne peut supposer que l'intervalle de temps entre le dépôt des galets et la précipitation du ciment métallifère ait été bien long puisque, dans le cas du Black reef, la contemporanéité de la formation aurifère et de la sédimentation est à peu près incontestable et que, d'ailleurs, on ne trouve guère de couches de galets un peu anciennes sans que ces galets aient été déjà soudés par de la silice. Mais on n'a besoin d'invoquer qu'une seule venue sulfureuse au lieu d'en admettre toute une série, on rend compte de la localisation fréquente de l'or dans de petits conglomérats situés entre les quartzites et les schistes (le contact

(*) Cette explication correspondrait à celle qui a été généralement admise pour les conglomérats cuprifères du Lac supérieur (Calumet and Hecla, Tamarac) contenant, jusqu'à la profondeur de 1.300 mètres, déjà atteinte par les travaux, un ciment cuprifère au milieu de galets, mais là en relation nette avec des roches éruptives et englobant des galets de toutes natures, en outre à proximité immédiate de gîtes de cuivre identiques montrant des formes d'imprégnation beaucoup plus nettes.

d'une couche schisteuse étant toujours propice à la circulation des eaux), et l'on explique également comment la venue aurifère est indépendante de la nature des galets, auquel on n'attribue plus que le rôle d'un filtre dont les éléments n'ont aucune raison pour renfermer de l'or par eux-mêmes ; la localisation de l'or dans les couches à galets résulterait alors de ce que les interstices y étaient plus largement ouverts à la pénétration des eaux que dans les sables des quartzites (*) et, si l'on admettait un rapport entre l'or et les roches éruptives ou entre la teneur et la pente des couches, ces phénomènes deviendraient également très simples à comprendre.

Cette hypothèse a cependant le défaut de ne pas bien expliquer pourquoi des couches à galets de même grosseur et identiques comme structure physique sont, à quelques mètres de distance, les unes aurifères, les autres stériles, et surtout elle est absolument incompatible avec la présence constante de la pyrite roulée.

En résumé, nous trouvons à la première et à la troisième hypothèse, deux objections qui nous paraissent trop fortes pour les négliger: d'une part, au simple dépôt de placer, le fait que jamais aucun galet, si gros qu'il soit, ne contient d'or (**) ; d'autre part, à l'imprégnation postérieure, l'état roulé de la pyrite : nous sommes donc conduit à admettre la seconde hypothèse, c'est-à-dire une précipitation chimique de l'or et de la pyrite pendant la sédimentation même.

(*) Les apparences de stratification pyriteuse seraient alors attribuées à une infiltration du sulfure dans les délits d'un sédiment antérieur.

(**) On pourrait, en outre, se demander où se trouvaient les filons d'or dont les affleurements érodés auraient pu fournir cette énorme quantité de métal précieux.

DEUXIÈME PARTIE.

EXPLOITATION ET TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE.

Sur les questions d'exploitation et de traitement, nous ne pouvons être ici que très bref ; aussi nous attacherons-nous uniquement aux traits caractéristiques des méthodes ou aux perfectionnements récents, en supposant déjà connues et rappelant seulement d'un mot les dispositions habituelles, qui sont celles de beaucoup d'autres mines d'or.

Le *mode d'exploitation des mines* du Transvaal, qui est, en général, convenablement organisé et tend désormais à se perfectionner de jour en jour, ne présente guère comme traits spéciaux que ceux résultant de la préoccupation dominante d'aller vite et de rémunérer le plus tôt possible le capital engagé. D'où, par exemple, l'emploi très fréquent des perforatrices à air comprimé (justifié d'ailleurs par la dureté de la roche), bien que le travail à la perforatrice soit toujours beaucoup plus coûteux que le travail à la main (*) ; d'où, en partie aussi, l'usage, de plus en plus répandu, des puits d'extraction inclinés remplaçant les anciens puits verticaux (**).

Le mode d'extraction par puits inclinés, généralement considéré comme défectueux en Europe, est préféré,

(*) La transmission de force aux perforatrices par l'air comprimé occasionne une perte considérable, plus de 60 p. 100 ; dans ces conditions, on songe à actionner les perforatrices par l'électricité.

(**) Même dans les mines de deep levels, aussitôt la couche atteinte par un puits vertical, on la suit en plan incliné, et souvent l'extraction des cages se fait d'un seul tenant, le long du plan incliné, puis du puits vertical, qui lui succède.

dans le cas des mines du Witwatersrand, parce qu'il permet d'effectuer les installations en restant dans la couche, par suite de ne faire que du travail utile (au lieu de puits verticaux et de longs travers-bancs dans le stérile) et de tracer, immédiatement, à partir de ce puits, les galeries de traçage en direction, généralement espacées de 30 mètres, qui serviront, dès qu'on le voudra, à l'abatage. La forme courbe des gîtes, qui se rapproche de celle appelée, en mathématique, une chaînette, est favorable au bon roulement des wagonnets dans ces puits inclinés, et, les couches étant peu disloquées, on peut les suivre sans avoir de trop brusques changements d'inclinaison. Cependant, dès que les failles apparaissent, il en résulte des difficultés, et, pour les mines d'une certaine profondeur, on est souvent amené aujourd'hui à tracer le puits incliné indépendamment de la couche, suivant une pente moyenne, jusqu'à son niveau le plus profond. L'emploi des plans inclinés nécessite, il est vrai, une certaine complication pour le chargement; mais, d'autre part, il permet un déchargement plus facile.

En dehors de ces deux particularités, le travail ressemble à celui de toutes les mines métalliques (*) : les galeries de traçage faites à niveau, suivant la direction des couches, sont réunies par des descenderies verticales, et l'on fait l'abatage, soit par gradins droits, soit par gradins renversés.

Les conditions d'exploitation sont, pour la plupart, très favorables.

(*) On peut noter en passant l'emploi presque général de l'électricité pour l'éclairage des plans inclinés, recettes, etc., et les transmissions de force par l'électricité pour les pompes souterraines; il est probable que cet agent jouera un rôle de plus en plus important à mesure qu'on s'approfondira et sera peut-être même adopté pour des machines d'extraction souterraines, quand on voudra exploiter à de grandes profondeurs. On projette déjà un essai de ce genre à la Simmer and Jack.

Le toit est d'une solidité exceptionnelle, en sorte qu'on ne consomme que peu de bois; les bois actuels, qui viennent d'Australie ou du nord du Transvaal, coûtent, il est vrai, assez cher : 8 fr. 20 pour un bois de 2 mètres; mais on a planté, autour de toutes les mines, des forêts d'eucalyptus, silvertrees, pins, etc., qui réussissent à merveille et suffiront bientôt à la consommation des mines.

L'*épuisement*, pour lequel on emploie, soit des pompes de Cornouailles, soit fréquemment des pompes électriques souterraines, représente presque toujours une dépense insignifiante ; les mines sont, pour la plupart, étonnamment sèches: ce qui tient peut-être en partie à ce que, comme on descend toujours suivant la même couche, on a, dès les premiers niveaux, drainé toutes les eaux d'infiltration qui auraient pu la suivre en profondeur. De fait, c'est, jusqu'ici, seulement dans la zone superficielle, que cette question des eaux produit une certaine gêne. Plus tard, il est vrai, quand on parviendra à de grandes profondeurs au-dessous du plan de drainage des vallées voisines, les difficultés de ce chef reparaîtront peut-être : mais, même dans ce cas, elles ne nous paraissent pas bien à redouter.

Enfin le *charbon*, fourni en abondance par des mines de houille toutes voisines des mines d'or, ne revient à un prix relativement élevé qu'à cause des tarifs absolument excessifs, imposés jusqu'à nouvel ordre par la Compagnie du chemin de fer néerlandaise qui est, en quelque sorte, une Compagnie fermière exploitant un monopole du Gouvernement (*). Il est, en tout cas, aussi abondant qu'on

(*) Les Anglais, qui sont toujours prêts à s'emparer des territoires à leur convenance sans aucun souci des droits acquis, toutes les fois qu'ils ne trouvent pas en face d'eux une puissance résolue à ne pas se laisser intimider par leur puissance apparente (comme les Etats-Unis en ce moment même), ont profité récemment, on le sait, de quelques erreurs semblables commises par le Gouvernement Boër pour tenter un coup de main sur le Transvaal. En même temps que la révolution éclatait à Johannesburg, les troupes de la Chartered, commandées par un certain

peut le désirer et d'une qualité très suffisante pour le chauffage des chaudières.

Le seul point critique dans l'exploitation des mines, c'est la *main-d'œuvre*, qui a été, jusqu'ici, d'un prix exorbitant, bien que fournie presque exclusivement par la population noire indigène. Le développement des mines s'est produit si vite que l'afflux des travailleurs noirs a toujours été insuffisant pour les besoins, d'autant plus que les Cafres et les Zoulous, assez bons ouvriers du reste, ne veulent travailler aux mines que 5 à 6 mois au plus, et, pendant ce temps, n'admettent pas de faire plus d'un trou de mine de 0m,60 à 0m,80 de profondeur par jour; il en est résulté entre les diverses mines une concurrence qui, dès le début des exploitations du Witwatersrand, a fait monter les prix à plus du double de ce qu'on paye encore dans la colonie voisine de Natal. De 4 francs par semaine, en 1887, on a sauté à 20 dès 1890. Cet état de choses, qu'on avait cru arriver à améliorer à la suite des efforts faits pour organiser le recrutement des noirs dans leur pays natal, s'est, au contraire, sensiblement aggravé dans ces derniers mois, où il s'est produit une crise très sérieuse: les prix, qui s'étaient un moment abaissés à 15 ou 16 francs par semaine en 1892, sont d'abord remontés au taux de 1890; c'est-à-dire que,

Dr Jameson, envahissaient brusquement, en pleine paix, le territoire transvaalien, comptant arriver sans coup férir à Johannesburg. Cet audacieux coup de main a échoué grâce à la ferme attitude des Boërs qui, le 1er janvier 1896, vainquirent et firent prisonniers les Anglais à Krugersdorp. Depuis lors, le calme s'est rétabli. L'acte de piraterie odieuse de Jameson, énergiquement flétri par l'empereur d'Allemagne qui, dans cette occasion, a su faire tout son devoir, et solennellement désavoué, suivant l'usage, par l'Angleterre, aura, sans doute, pour effet de consolider pour longtemps l'indépendance du Transvaal. Il est à souhaiter qu'il ne fasse pas oublier au Gouvernement du président Krüger ce qu'il paraissait y avoir de juste dans les réclamations économiques des mineurs, notamment au sujet des droits de transport sur le charbon et des droits d'entrée sur les substances alimentaires ou, les machines.

jusqu'au mois d'octobre 1895, on a payé les mineurs cafres environ 20 francs par semaine, plus leur nourriture et leur logement, représentant 1/8 à 1/10 du salaire, soit, en définitive, à peu près 4 francs par jour. Vers le mois de décembre on est même arrivé, paraît-il, à 25 ou 30 francs.

Il est, assurément, très remarquable que l'on soit déjà parvenu à mobiliser et à renouveler incessamment cette armée de 45.000 Cafres qui, dès à présent, travaillent constamment dans les mines, tandis qu'en 1890 on n'en avait encore que 15.000. Mais si l'on réfléchit que, dans les prochaines années, un très grand nombre de mines nouvelles doivent entrer en exploitation suivie et que, suivant les prévisions, le nombre des pilons doit, en cinq ou six ans, passer de 2.870 (chiffre du mois de novembre) à plus de 8.000, ce qui, au lieu de 45.000 noirs, en exigera 230.000, on peut prévoir une période difficile à traverser.

Nous croyons qu'on arrivera à triompher de cette gêne momentanée, avant même que la phase de développement intense et fiévreux soit arrivée à son apogée: c'est, en effet, un fait très fréquemment observé pour les phénomènes d'ordre social, — tels que, dans notre cas, l'habitude créée chez les jeunes gens des peuplades voisines de venir travailler aux mines, — qu'il se produit d'abord un certain retard de l'effet sur la cause, retard dû à l'inertie, tandis que le même mouvement se continue, par contre, assez longtemps après que la cause a déjà cessé. On a donc quelques raisons de prévoir que, lorsque l'industrie du Rand approchera de son maximum, dans deux ans environ, l'afflux des nègres se poursuivant de plus en plus, non seulement on ne manquera plus de travailleurs, mais on pourra peut-être même diminuer leurs salaires, actuellement hors de proportion avec les services rendus.

On examine, d'autre part, la question de savoir s'il n'y aurait pas lieu de favoriser l'immigration des mineurs blancs, Californiens, Australiens, Siciliens, etc., et de leur attribuer un rôle plus actif que celui qu'ils ont actuellement dans la mine (rôle presque uniquement de surveillance). La main-d'œuvre jaune, si elle n'offrait pas des dangers d'autre nature, rendrait également, en raison de son bon marché bien connu, de réels services.

Nous donnerons plus loin quelques chiffres relatifs aux dépenses d'extraction, quand nous aurons parlé du traitement des minerais ; mais, auparavant, continuons à suivre ceux-ci dans leurs étapes successives.

Les conglomérats aurifères, une fois extraits de la mine, sont soumis, en général, à un *triage*, presque toujours très sommaire et qui gagnerait souvent à être perfectionné, suivant le bon exemple donné par certaines mines, comme la Ferreira ; mais le développement énorme des batteries de pilons, en exigeant une production très forte de minerais, ne laisse souvent pas le temps ni la faculté de faire ce triage qui réduirait la quantité apparente de minerais à passer ; d'autre part, avec des minerais aussi difficiles à reconnaître du stérile, on risque ainsi de rejeter dans les haldes des parties riches (*) : en sorte que, pour calculer le bénéfice résultant du triage, il faut établir une balance entre l'économie de traitement et la quantité d'or perdue, augmentée de la dépense de triage, ce qui a amené certains directeurs anglais à cette idée tout à fait paradoxale qu'il y avait encore avantage à tout passer indistinctement, le stérile avec le minerai (**).

(*) Les stériles retiennent au moins 1 gr. 5 à 2 grammes d'or, dont on pourrait retirer environ 1 gr. 5 en moyenne.

(**) Dans certaines mines à reefs minces et riches, comme autour de Roodeport, on est amené à abattre une telle quantité de stérile qu'un triage s'impose.

Après ce triage, les minerais doivent, pour céder l'or qui y est contenu, subir d'abord un *broyage* complet qui, en les réduisant à l'état de fine poussière, mette en liberté le métal précieux englobé dans le quartz et dans la pyrite, puis une série d'opérations métallurgiques fondées surtout sur la propriété qu'ont deux substances, le mercure et le cyanure de potassium, de dissoudre l'or en laissant inattaqués les minéraux avec lesquels il se trouve mélangé.

On commence donc par concasser les morceaux de roche extraits de la mine, soit dans un concasseur à mâchoires du type Blake, soit dans un concasseur à excentriques, Gates ou Comet ; puis les débris de minerai vont à la batterie, où ils sont broyés dans l'eau par des pilons.

Ce système de broyage, presque universellement adopté aujourd'hui, et qui offre, en tout cas, l'avantage d'être parfaitement connu, a ses adversaires, qui lui reprochent d'augmenter beaucoup trop la proportion des boues fines rebelles au traitement ultérieur (ou slimes) et celle de l'or entraîné par l'eau (floating gold). Aussi étudie-t-on, de divers côtés, des procédés de broyage, soit par cylindres, soit par boules ou par excentriques, qui sont peut-être le procédé de l'avenir, mais attendent encore leur confirmation expérimentale. Les cylindres, par exemple, semblent avoir donné d'assez bons résultats avec les minerais oxydés, c'est-à-dire friables, sur lesquels on les a essayés ; mais il est probable qu'ils s'useront inégalement avec des minerais durs et, au bout de peu de temps, cesseront de fonctionner aussi bien ; en outre, il faut tenir compte des tourbillons de poussière qui se dégageront, de l'usure des coussinets, etc. Les broyeurs à force centrifuge ont aussi leurs partisans. Enfin, les systèmes à excentriques, dont on emploie déjà un premier type (concasseurs Gates ou Comet) pour le pre-

mier fragmentage de minerais, pourraient également être tentés.

Il y a, dans le choix de la méthode à adopter pour le broyage, un point essentiel à considérer: c'est que l'or est uniquement dans le ciment plus friable et jamais dans les galets plus résistants: en sorte qu'on s'ingénie de toutes façons pour arriver à broyer suffisamment le ciment, sans se donner la peine de pulvériser complètement les galets, qui peuvent, sans inconvénient, rester à l'état de sables encore grossiers. C'est sur ce principe qu'ont été basées les très intéressantes expériences de broyage à sec faites au Champ d'Or par M. Périer de la Bathie, ou, tout récemment, par M. Franklin White à la Village Main-Reef.

Ces dernières expériences avaient pour but de chercher d'une façon méthodique le meilleur moyen d'empêcher l'or de se perdre dans les slimes (boues fines), perte qui représente environ 20 p. 100 du nombre de tonnes broyées (chaque tonne de slimes retenant 6 grammes d'or, pour un minerai dont la teneur moyenne aux essais est d'environ 30 grammes), soit 4 p. 100 de l'or contenu.

M. White s'est demandé si, en broyant le minerai à sec et l'exposant directement à une solution de cyanure de potassium, celui-ci ne dissoudrait pas aussitôt tout l'or fin, de telle façon que, dans le traitement ultérieur auquel on pourrait soumettre les résidus pour les appauvrir, on ne risquerait plus de faire passer cet or fin dans les slimes.

Les résultats en petit ont paru prouver, d'après M. White, qu'avec le broyage à sec et le traitement direct au cyanure sans amalgamation, on pouvait arriver à retirer 95 p. 100 de l'or contenu. Entre autres avantages de ce système, on a fait remarquer que l'or, n'étant plus isolé ici que dans la toute dernière phase de l'opération, au moment de la fusion du zinc sur lequel on a précipité

l'or de la dissolution cyanurée, on évitait ainsi les vols d'amalgame aurifère qui, actuellement, représentent, paraît-il, un chiffre assez important.

L'idée d'opérer le broyage à sec se rattache directement à une question qui préoccupe à juste titre les sociétés minières du Transvaal: c'est l'approvisionnement en eau de toutes ces énormes batteries dans un pays où il n'existe ni sources ni eaux courantes. Fort heureusement, les pluies, dans le Witwatersrand, sont très abondantes pendant la saison d'été, et le relief du pays se prête bien à la création de grandes retenues d'eau par des barrages en travers des vallées. C'est le système qui a été adopté, dès le début, un peu partout, et qui donne des résultats très satisfaisants : il faut, en effet, une prolongation exceptionnelle de la sécheresse jusqu'au mois de novembre (*), comme celle qui s'est produite cette année même, pour que quelques-unes des batteries, avec leurs ressources actuelles, arrivent à manquer d'eau, et l'on dispose encore d'une forte marge pour augmenter le nombre et la dimension des étangs. Néanmoins, il est certain que l'alimentation en eau des batteries constitue une gêne et une dépense et que, si l'on pouvait arriver à broyer le minerai, non tout à fait à sec, mais simplement à l'état humide, l'avantage serait notable.

Dans deux mines, le procédé de broyage à sec fonctionne déjà ou va être employé très prochainement : à la George and May, où on l'emploie depuis environ un an et à la mine de Rip. A Rip, M. de la Bathie a installé, à la suite de concasseurs Blake, des broyeurs à cylindres (enveloppés de tôle, afin d'éviter les nuages de poussière produits par le broyage à sec). Au lieu de prendre le dispositif généralement adopté pour les cylindres, qui consiste à les rendre solidaires par un engrenage, en les

(*) De mai en octobre, il ne tombe généralement pas une goutte d'eau.

munissant seulement d'un ressort pour leur permettre de s'écarter devant un caillou trop dur, il les fait mouvoir par deux poulies indépendantes. Le minerai broyé va à une cuve rectangulaire, où il est traité, pendant 80 heures, par une liqueur cyanurée, qui lui arrive d'abord après avoir passé par deux cuves semblables, c'est-à-dire très appauvrie, puis après en avoir traversé une seule, et enfin directement.

Cette usine de Rip n'avait même pas encore commencé à fonctionner quand nous l'avons visitée; aussi, malgré le grand intérêt de ces tentatives, ne peut-on les considérer comme ayant reçu la sanction essentielle de la pratique ; nous revenons donc à l'étude du seul procédé généralement adopté jusqu'ici : le broyage par les pilons après concassage préalable.

Les pilons employés au Transvaal sont tous du même type classique, d'autant plus semblables entre eux qu'ils proviennent en général des mêmes maisons : Fraser and Chalmers de Chicago, Sandycroft de Chester (Angleterre), accessoirement Krupp de Magdeburg, etc. ; ce sont des batteries de cinq pilons, dont on vise de plus en plus à augmenter le poids, en même temps qu'on diminue le degré de finesse du broyage, en augmentant le diamètre des mailles de la toile métallique, par laquelle s'échappe la lavée.

Au début, on a employé des pilons de 203 kilogrammes (450 lbs), qui convenaient bien pour le minerai friable oxydé de la surface, mais sont devenus impuissants à broyer les roches très dures, que l'on extraira uniquement désormais ; aujourd'hui, on considère, comme la meilleure dimension, celle qui correspond à un poids de 476 kilogrammes (1.050 lbs) et, dans la nouvelle batterie de la Modderfontein, on a été à 566 (1.250 lbs). Le nombre de tonnes broyées par jour et par pilon s'accroît nécessairement en même temps que le poids des pilons, et c'est

ainsi que les pilons de la Crown reef, lourds de 451 kilogrammes, broient $4^{tm},64$, tandis que ceux de la Nigel, lourds de 340 kilogrammes, broient seulement $2^{tm},45$. Cependant, il est évident qu'il y a une limite à cet accroissement et que les trop gros pilons présenteront, dans leur fonctionnement, des difficultés qu'on ne rencontrait pas avec les petits.

Le principal problème à résoudre avec les pilons est de ne broyer ni trop ni trop peu, c'est-à-dire de régler les cames et l'écoulement du minerai, de manière qu'une fois réduit en poussière suffisamment fine, celui-ci ne reste pas indéfiniment sous les bocards, qui alors, non seulement fournissent du travail inutile, mais font même de la besogne nuisible ; car ils écrasent l'or et les quartzites, et produisent à la fois de l'or flottant et des slimes : donc, de toutes façons, une perte en or. Dans ces appareils, les ruptures de pièces sont également assez fréquentes ; mais, étant donné que tous sont du même type et viennent à peu près des mêmes maisons, il est facile d'avoir immédiatement les pièces de rechange, sans qu'il en résulte un arrêt dans le travail.

D'une façon générale, les quelques chiffres suivants, représentant la moyenne de tout le Rand, montreront comment, avec les développements successifs de l'industrie, le rendement par jour et par pilon s'est accru très fortement, en même temps que le nombre des pilons lui-même :

	NOMBRE DE pilons en marche	TONNES MÉTRIQUES broyées par jour et par pilon
Janvier 1891	1412	moyenne 2.50
Janvier 1892	1560	2.00
Janvier 1893	1914	3.30
Janvier 1894	2169	3.32
Décem. 1894	2265	3.38
Août 1895	2565	3.75
Novem. 1895	2870	3.81

Cette amélioration du rendement provient, avant tout, de l'augmentation du poids des pilons ; néanmoins, elle peut correspondre aussi à un meilleur fonctionnement. On serait même tenté d'attribuer une importance exagérée à cette dernière considération, si l'on se fiait absolument aux résultats publiés par les diverses mines. Car, si nous prenons, par exemple, des mines ayant des pilons exactement du même poids (430 kilogrammes), donc comparables, et broyant, en outre, des minerais de dureté bien analogue, nous voyons que le broyage par jour et par pilon, en août 1895, a varié dans la proportion suivante :

JUBILEE	PRINCESS ESTATE	JUMPERS	SALISBURY	LANGLAAGTE BLOCK B	MEYER AND CHARLTON
tm.	tm.	tm.	tm.	tm.	tm.
2.92	3.10	3.31	3.35	3.53	3.70

LANGLAAGTE ESTATE	ROODEPORT UNITED M. R.	GINSBERG	WEMMER	GELDENHUIS M. R.
tm.	tm.	tm.	tm.	tm.
3.86	3.92	4.04	4.14	4.21

Il est bien probable que, dans l'inégalité tout à fait anormale de ces rendements, intervient une influence déjà signalée plus haut, celle des erreurs commises dans l'évaluation du nombre de tonnes broyées, et que les mines où l'on semble broyer une quantité trop forte de minerai, sont, en partie, celles où la quantité de minerai passé aux pilons s'est trouvée elle-même majorée, de manière à obtenir un prix de revient apparent plus économique.

Lorsque le minerai a été broyé par les pilons, son traitement mécanique est à peu près terminé (sauf quelques concentrations ultérieures dans les frue vanners, spitzkasten, spitzlutten, etc.), et il lui reste à subir surtout des *opérations métallurgiques*.

Ces opérations commencent dans le mortier même du pilon et se continuent, aussitôt après, sur des plaques de

cuivre amalgamé, où l'on fait couler la lavée de minerai pulvérisé, par une attaque au mercure, attaque qui a pour effet de dissoudre, à l'état d'amalgame d'or (ultérieurement soumis à la distillation), une assez forte proportion d'or (free milling gold), allant de 55 à 65 p. 100 de l'or total contenu.

A cela s'est borné dans les premiers temps, et presque jusqu'en 1890, le traitement des minerais : les résidus de l'amalgamation, ou tailings, retenant 35 à 45 p. 100 de l'or, étaient à cette époque accumulés pour l'avenir.

Un premier progrès a consisté à soumettre ces résidus, ou tailings, à une concentration par l'appareil de préparation connu sous le nom de frue vanners, de manière à isoler, sous le nom de concentrés, les pyrites aurifères tenant encore environ 6 p. 100 de l'or, et à en extraire cet or, soit par une nouvelle amalgamation au Berdan-plan, soit plutôt par la *chloruration*.

Ce dernier traitement, qui s'exécutait dans des usines spéciales auxquelles les mines vendaient leurs concentrés, a donné de bons résultats depuis 1890, et fonctionne encore dans nombre de cas; mais il paraît être appelé à disparaître prochainement un peu partout (ainsi peut-être que la concentration même aux frue vanners) pour faire place à un traitement direct des minerais broyés au *cyanure de potassium*.

Vers 1891, en effet, on a commencé à mettre en pratique (notamment par l'initiative de MM. Mac-Arthur et Forrest) la propriété, depuis longtemps connue, qu'a le cyanure de potassium de dissoudre l'or, et ce système, qui, ailleurs, n'a pas toujours donné de bons résultats avec des minerais plus impurs et plus rebelles (*), a si bien

(*) Il paraît cependant qu'on commence à l'employer en grand pour les tellurures complexes du nouveau district, déjà fameux, de Cripple Creek, au Colorado.

réussi au Transvaal qu'il tend à détrôner peu à peu tous les autres.

On a commencé, en effet, vers 1891, par l'appliquer timidement aux résidus de la concentration, ou tailings, et on peut dire qu'à ce moment, en permettant d'extraire 20 p. 100 de l'or des minerais, jusqu'alors considéré comme perdu, il a sauvé un grand nombre de mines prêtes à sombrer; plus tard, on a eu l'idée de supprimer la concentration même, et de soumettre à l'action du cyanure le minerai broyé aussitôt après son amalgamation; aujourd'hui, c'est l'amalgamation qui va peut-être succomber à son tour; car, depuis un an ou deux, on s'évertue à chercher le moyen de faire passer le minerai directement du broyage aux cuves de cyanure, tantôt en conservant les pilons comme instrument de broyage, tantôt en leur substituant des cylindres ou d'autres appareils. Le procédé nouveau, outre un léger avantage d'économie (*) et une plus grande sécurité contre les vols, semble surtout permettre d'extraire une proportion plus forte de l'or contenu.

Nous ne pouvons songer à faire ici une étude complète de ce procédé si intéressant de la cyanuration, et nous nous abstiendrons notamment d'entrer dans les détails de son application ou de la construction des appareils où on l'utilise (**) ; mais nous en rappellerons le principe et nous indiquerons rapidement les plus récents progrès.

Quand le minerai broyé, sous forme d'une boue diluée entraînée par un courant d'eau, s'écoule, à l'extrémité des plaques d'amalgamation, cette pulpe, ou lavée, retient

(*) La dépense de mercure par tonne broyée n'entre guère que pour 0 fr. 07 sur un prix de revient total de 31 francs.

(**) Nous renvoyons pour les principes aux intéressants articles de M. de la Bathie dans le *Génie Civil* de février 1895, ou à l'ouvrage d'Eissler : *The cyanide process for the extraction of Gold* (1895).

une certaine quantité d'or qui a échappé pour une cause quelconque à l'amalgamation : or flottant, rouillé ou grossier (floating, rusty, coarse gold), or combiné avec un métalloïde, or emprisonné dans la pyrite, etc.

La pulpe, soit après avoir été soumise à une concentration aux frue vanners ou aux spitzlutten, soit directement, se rend alors dans des cuves de dépôt (settling), où s'accumulent bientôt toutes les particules sableuses (tailings), tandis que des parties plus légères, argileuses, savonneuses (slimes) sont entraînées plus loin. Le traitement dont nous allons parler s'applique, jusqu'ici, uniquement aux tailings, qui représentent environ les 2/3 du minerai broyé ; nous dirons en terminant avec quelles modifications on espère pouvoir bientôt l'adapter également aux slimes : ce qui constitue, pour l'avenir du Rand, une question de haute importance, puisque avec ces slimes se perd actuellement, en moyenne, un dixième de l'or total.

Quand un minerai d'or est mis au contact du cyanure de potassium en présence de l'air, dans des cuves de dissolution (leaching vats), la réaction élémentaire qui se produit est la suivante :

$$2Au + 4KCy + O + H^2O = 2AuKCy^2 + 2KHO.$$

Il se forme ainsi une dissolution de cyanure double d'or et de potassium, dont il est facile ensuite de précipiter l'or, soit par le zinc (procédé Mac Arthur Forrest) soit par l'électricité, sur des couples plomb et fer (procédé Siemens et Halske).

Quelques substances, désignées sous le nom de cyanicides, ont pour effet de détruire le cyanure de potassium et de gêner le traitement: ainsi les pyrites fines à demi oxydées et transformées en sulfates acides qui, si l'on n'ajoute à la liqueur un peu d'alcali ou de chaux,

mettent en liberté une certaine proportion d'acide cyanhydrique gazeux et forment avec l'or un acide auricyanhydrique $AuHCy^4$, que le zinc ne précipite pas. La présence de métaux étrangers, tels que le cuivre, pourrait également avoir des inconvénients ; mais, comme nous l'avons dit déjà, dans les minerais du Witwatersrand, ces métaux font à peu près complètement défaut ; de telle sorte qu'avec la cyanuration on arrive, dès aujourd'hui, et bien que les slimes restent encore inutilisés, à retirer 80 à 85 p. 100 de l'or total. Il n'y a guère que quelques mines, comme l'Orion, où la présence du cuivre réduit un peu le rendement.

Nous allons examiner successivement : 1° la dissolution de l'or dans le cyanure ; 2° la précipitation.

Au point de vue de la dissolution de l'or dans le cyanure, les progrès récents ont consisté, avant tout, dans une classification préalable des tailings par grosseur et densité de grains, chaque classe exigeant un contact avec le cyanure d'une durée différente, et d'autant plus long que la substance est plus fine, de telle façon qu'on peut, dans chaque cas, réduire le temps de l'opération au minimum, et faire de ce chef une économie dans les installations, la main-d'œuvre et même la dépense de cyanure.

On a également diminué, de plus en plus, le titre des dissolutions cyanurées et dissolvantes et, dans cet ordre d'idées, l'emploi de l'électricité comme précipitant a permis d'arriver à des liqueurs extraordinairement diluées (jusqu'à un dix-millième), ce qui rend la perte de cyanure presque insignifiante. En outre, on a, par toute une série d'artifices, multiplié les contacts du minerai avec l'air (la présence de l'oxygène étant, d'après la formule même, nécessaire pour la dissolution) et régularisé l'action des liqueurs cyanurées. Enfin, accessoirement, on a perfectionné la confection des cuves où se fait la réaction, de manière à surveiller et éviter les fuites, qui représentent une perte de cyanure aurifère, c'est-à-dire, à la fois, d'or et de cyanure, et l'on a également réduit et simplifié la main-d'œuvre, dont le rôle a toujours été, dans cette opération, assez insignifiant, ainsi que la durée des opérations qui entraîne naturellement une augmentation du matériel. Sur tous ces points, on a réalisé, dans ces derniers temps, de tels perfectionnements qu'il ne paraît plus en rester de bien importants à introduire et qu'une majoration des bénéfices de ce chef semble beaucoup moins à espérer que celle qui résultera probablement peu à peu du traitement des slimes et d'améliorations — ou d'économies — dans le travail des mines (*).

Nous pouvons prendre comme premier type le traitement très perfectionné organisé dans les mines de la Rand Central Ore Reduction Cy, en mentionnant, chemin faisant, les variantes adoptées dans telle ou telle autre installation.

La Central Ore Reduction Cy a installé une organisation particulière pour traiter de mauvais tailings, mélangés de slimes, salis par des matières organiques (**) ou des acides, qu'elle achète à diverses mines, celles-ci n'en ayant individuellement pas des quantités suffisantes pour employer le traitement compliqué dont nous allons parler ; nous nous trouvons donc là dans le cas le plus difficile, qui, par de simples suppressions d'appareils ou d'opérations intermédiaires, peut se ramener aisément aux conditions habituelles.

Les tailings, élevés par un monte-charges, passent d'abord

(*) Nous ne parlerons pas des dissolvants de l'or autres que le cyanure de potassium, chlorure de soufre, etc., préconisés à grand fracas par quelques personnes et dont l'emploi n'est encore qu'une pure conception théorique.

(**) La présence de matières organiques ou de bois dans les cuves de cyanuration est très à éviter, puisque ces substances réductrices précipiteraient aussitôt un peu de l'or entré en dissolution, qui pourrait se trouver perdu.

dans plusieurs trommels inclinés destinés, le premier à éliminer les fragments trop volumineux, les autres à commencer un classement par grosseur. La pulpe, mélangée de chaux pour neutraliser les acides, arrive ensuite dans une série de spitzlutten où elle rencontre un courant d'eau ascendant, calculé de manière à établir chaque fois deux catégories, l'une plus lourde tombant au fond malgré le courant, l'autre plus légère entraînée. On obtient ainsi une classification très complète, et les diverses lavées sont conduites chacune à une cuve spéciale, où elles sont réparties (après filtrage destiné à arrêter les débris de bois), au moyen d'un distributeur tournant automatique à plusieurs bras inégaux : cet appareil a pour but d'éviter ce qui, sans cela, se passe parfois dans les cuves de dépôt, c'est-à-dire une concentration des matières plus denses au fond ou sur les bords, des plus légères en haut et au centre et, par suite, des irrégularités dans le traitement.

Grâce à cette classification préalable qui facilite beaucoup les réactions (*), on peut, dans cette usine, opérer la dissolution par le cyanure en une seule fois sans changer le minerai de cuve pour le répartir différemment et le remettre à l'air, ainsi qu'on le fait ailleurs dans la plupart des usines.

Comme la précipitation de l'or s'opère dans ce cas par l'électricité, on peut, en outre, employer, pour la dissolution, des liqueurs de cyanure de potassium extrêmement étendues qui ne conviendraient pas pour la réduction par le zinc ; en moyenne, on fait d'abord arriver de l'eau à 0,08 p. 100 de cyanure pendant 1 jour et demi ; puis à

(*) La classification préalable par spitzlutten tend à s'introduire dans beaucoup d'usines, Crown reef, Wolhuter, New-Heriot, etc., et souvent avec suppression de la concentration préalable par les frue vanners. Les usines nouvelles de la Wolhuter, de la Modderfontein ou de la New-Heriot n'ont pas de frue vanners ; la Geldenhuis, qui en avait eu pour ses 40 premiers pilons, les supprime pour les 80 pilons nouveaux.

0,03 p. 100 pendant 1 jour et demi ; enfin à 0,01 p. 100 pendant 1 jour et demi ; soit, en tout, 4 jours et demi ; on prolonge, pour les plus gros sables, qui filtrent plus rapidement et pourraient garder un peu d'or au centre, l'action des solutions fortes, tandis que les sables fins sont plutôt traités par des solutions faibles et restent plus longtemps en présence du cyanure qui les pénètre moins aisément.

Dans cette usine, on emploie des cuves circulaires en bois de 8 mètres de diamètre et $2^{m},60$ de profondeur (dont $0^{m},30$ à la base occupés par un filtre, à travers lequel s'écoule la dissolution aurifère) et contenant 120 tonnes de minerai.

Les cuves sont à peu près partout, comme dans ce cas particulier, en bois et circulaires avec déchargement au fond, plus rarement en bois et rectangulaires : cette dernière forme, plus économique, convenant moins bien à l'établissement de cuves de grande capacité. Comme la tendance est d'en augmenter les dimensions de plus en plus, on fait actuellement quelques essais de cuves en tôle (City and Suburban, Modderfontein, Geldenhuis deeps, etc.) ; on a également tenté de les construire en maçonnerie (Geldenhuis, Langlaagte Estate, Crown reef) : ce qui aurait permis de les faire aussi grandes qu'on l'aurait voulu ; et, en fait, on était arrivé à 360 tonnes métriques pour la Langlaagte Estate ; mais la maçonnerie, exposée à des alternatives d'humidité et de sécheresse, se crevasse et amène des pertes notables : en sorte que l'idée paraît abandonnée.

Pour les dimensions, le diamètre de 8 mètres, adopté à l'usine centrale de la Central Or Red. C^y^, peut être considéré comme déjà assez grand ; souvent on n'a que 6 mètres, avec $1^{m},50$ de profondeur (*) ; on a été, par contre, pour une

(*) La profondeur dépend essentiellement de la nature et du degré de compacité ou de finesse de la substance traitée, c'est-à-dire de la facilité

autre usine de la même société, à 13 mètres avec une capacité de plus de 500 tonnes ; à la Simmer and Jack, on a atteint également 540 tonnes (*).

Dans le cas que nous venons de citer, on fait arriver la liqueur cyanurée par en haut, et elle filtre naturellement à travers le minerai pour s'écouler à la base ; certains ingénieurs (notamment au Champ d'Or) préconisent beaucoup le système inverse, dans lequel la liqueur arrive par le bas sous pression et se déverse à la surface ; on dit obtenir ainsi une dissolution plus complète de l'or ; mais le réglage de la pression est assez délicat : car, si elle est trop faible, le cyanure ne traverse pas et, si elle est trop forte, il se crée, dans le minerai, une sorte de cheminée où tout passe, le reste de la masse échappant à la réaction.

Le défaut principal auquel on a cherché à remédier par tous les moyens possibles, c'est l'existence, dans cette accumulation de sables plus ou moins argileux, de parties où, pour une cause quelconque, soit parce que la compacité y est plus grande, soit parce que la dissolution cyanurée s'est frayé un chemin ailleurs, la réaction chimique n'a pas le temps de se poursuivre jusqu'au bout, en sorte qu'il reste dans les résidus un peu d'or définitivement perdu. En outre, généralement, la partie supérieure des cuves cède plus complètement son or que le fond : ce qui, lorsqu'on ne veut pas changer de cuve au milieu de la réaction, a parfois conduit à diminuer la profondeur.

Pour éviter ces inconvénients, l'un des procédés, que nous venons de nous trouver décrire incidemment, consiste : d'abord à bien classer les minerais par densité et

avec laquelle elle se prête au filtrage. Pour les concentrés, les cuves sont toujours moins profondes.

(*) A la Wolhuter, les cuves, nouvellement installées, ont 12 mètres de diamètre et 2m,40 de profondeur ; elles tiennent 315 tonnes.

ensuite, dans chaque classe, à remédier aux inégalités subsistantes par l'action du distributeur automatique.

Ailleurs, on se contente, après avoir fait agir une première liqueur de cyanure de remuer le minerai à la pioche et à la pelle, de manière à l'aérer et à le mieux répartir (Geldenhuis Estate).

Dans cet ordre d'idées, un progrès tout naturel a été de changer le minerai de cuve pour la seconde réaction : ce qui, il est vrai, oblige à avoir une série de cuves supplémentaires, mais assure la modification désirée dans la répartition des sables. Ces secondes cuves, on a commencé par les mettre à une certaine distance (Wolhuter, Robinson), le minerai étant alors déchargé des premières cuves dans des wagonnets par un procédé quelconque (trappe au fond, trappe latérale, jet à la pelle par dessus bord) et transporté à distance ; on a trouvé, dans ces derniers temps, qu'il serait plus simple de mettre les deux cuves l'une au-dessus de l'autre, de manière à rendre le déchargement presque automatique et c'est, en somme, le système que l'on tend à installer dans les usines les plus récemment construites : ainsi, à la Geldenhuis deep (Rand Mines), où les cuves sont en tôle, la supérieure de 9m,30 de diamètre et 3 mètres de profondeur, l'inférieure de 8m,40 sur 3m,60, etc.

Dans le cas de l'usine de la New Comet (East Rand), on a, pour une usine de 60 pilons, une série de spitzlutten, puis 5 premières cuves de dépôt (settling) circulaires en bois, d'environ 6 mètres de diamètre sur 2m,50 de profondeur, placées sur des bâtis en charpente à 6 ou 7 mètres au-dessus du sol et, à leur pied, cinq autres cuves de cyanuration (leaching). La particularité de cette installation, c'est l'existence de deux autres grandes cuves peu profondes destinées au traitement des concentrés, cuves formées en réalité chacune de deux récipients concentriques et indépendants (l'extérieur annulaire) de manière à faire

un premier traitement dans la cuve extérieure par la dissolution forte, et un second, après transbordement, par la dissolution faible dans la cuve centrale. C'est là encore une manière de résoudre le même problème.

Au point de vue de la force et de la durée d'action des liqueurs cyanurées, nous avons cité un cas où, la précipitation devant se faire à l'électricité, le titre du cyanure était particulièrement faible; quand on doit précipiter par le zinc, on ne peut, quoique la tendance soit d'employer des dissolutions de plus en plus diluées, arriver à des teneurs aussi extrêmes.

A la Wolhuter, la solution forte est à 0,35 p. 100; la faible à 0,08 p. 100.

Au Champ d'Or où, contrairement à ce que nous venons de voir faire à la Central Ore Reduction Cy, on préconise, pour utiliser une partie des slimes, l'idée de les mélanger avec les tailings, on emploie les solutions suivantes :

Pour concentrés, solution forte..	0,3 à	0,6	p. 100 de cyanure.
Tailings, solution forte.....		0,25	—
Tailings, solution faible		0,08	—

Là le traitement dure normalement 3 jours pour les tailings (jusqu'à ce qu'ils ne contiennent plus que 1gr,5 à 2 grammes d'or); la solution forte passe pendant 12 heures, et ensuite plusieurs solutions faibles successives. Quand on en a le temps, après ces réactions, on lave à l'eau pure pour enlever les dernières traces d'or et de cyanure, et cette eau sert, à la fin pour faire la solution. Avec les tailings mélangés de 1/4 à 1/8 de slimes, on prolonge le traitement cinq jours.

Pour les concentrés, le traitement, beaucoup plus laborieux, puisqu'il s'agit d'un minerai infiniment plus riche, dure près d'un mois en changeant de cuve tous les huit jours pour aérer.

A la New-Heriot, le traitement des concentrés dure 14 jours.

D'une façon générale, l'habitude est de faire agir d'abord les liqueurs les plus fortes et ensuite, à mesure que le minerai s'appauvrit, les liqueurs de plus en plus faibles; le but est d'enlever de suite et le plus rapidement possible la majeure partie de l'or contenu; cependant, on peut se demander s'il ne serait pas plus logique, comme on le fait dans la plupart des industries chimiques fondées sur la dissolution, d'employer d'abord des liqueurs faibles avec le minerai fort et, à la fin, des liqueurs fortes avec le minerai déjà appauvri, par suite, ayant plus de peine à céder le peu d'or qu'il contient encore. Ce principe a été introduit par M. Périer de la Bathie dans une usine nouvelle qu'il a eu l'occasion de construire.

Passons maintenant à la précipitation de l'or en dissolution. Cette précipitation s'est faite, jusqu'ici, presque exclusivement par le zinc; mais, dans un petit nombre d'usines (qui se bornent encore à peu près à celles de la Central Ore reduction Cy) on a installé le nouveau système électrique Siemens et Halske, qui paraît offrir quelques avantages notables.

La précipitation par le zinc s'opère dans de petites caisses, dites *extracteurs*, ou zinc-boxes, où l'on met du zinc en copeaux et où l'on recueille, tous les quinze jours ou tous les mois, l'or précipité par ce métal en même temps qu'une partie du zinc chargé d'or.

Ces produits, mélangés avec un peu de nitrate de potasse, sont d'abord grillés pour oxyder le zinc et permettre ensuite sa scorification; puis on les fond avec du bicarbonate de soude, du borax, de la silice et parfois du spath-fluor; on obtient ainsi des lingots d'or brut (bullion) qu'il ne reste plus qu'à soumettre à un raffinage.

Le procédé Siemens et Halske, introduit au Transvaal seulement depuis un an ou deux et encore assez combattu,

consiste dans la précipitation de l'or par l'électrolyse en solution très diluée de cyanure de potassium.

L'électrode négative, sur laquelle se dépose l'or, est formée de feuilles de plomb extrêmement minces (un peu difficiles à manier), que l'on retire environ tous les mois pour les fondre en lingots ; l'électrode positive est en fer, de telle sorte qu'il se produit du ferrocyanure de potassium, c'est-à-dire du bleu de Prusse, qu'on dissout dans la soude caustique et fond (après évaporation) avec du carbonate de potasse, pour récupérer le cyanure de potassium.

La consommation du plomb est d'environ 560 grammes par tonne de tailings traités ; celle du cyanure de potassium descend à 120 grammes (au lieu de 380), par suite de la possibilité qu'on a d'employer des dissolutions de cyanure très faibles, et de les reconstituer en grande partie. En résumé, il paraît y avoir, sur le procédé au zinc, économie de près de 2 francs par tonne sur le traitement, comme le montrent les chiffres moyens suivants :

	TRAITEMENT PAR LE CYANURE avec précipitation au zinc	TRAITEMENT AVEC PRÉCIPITATION par l'électrolyse
Main-d'œuvre	2 fr. 50	2 fr. 50
Cyanure de potassium.	2 »	0 60
Chaux	0 10	0 10
Zinc	1 10	»
Plomb	»	0 15
Fer	»	0 25
Soude caustique	»	0 50
Charbon	0 30	
	6 fr. 00	4 fr. 10

A la Robinson, le prix du traitement au zinc est descendu à 5 fr. 90 ; celui par l'électricité n'a coûté à la Central Ore Reduction Cy, en 1894, que 3 fr. 90, dont 1 fr. 10 pour frais de transport des minerais. L'or extrait

représentant environ 16 à 17 francs par tonne, on voit, d'après ces prix de revient, quel bénéfice l'industrie de l'or retire chaque jour de la cyanuration.

Ces prix, il est vrai, ne comprennent pas la redevance due aux détenteurs de l'un ou l'autre brevet. Or, avec le procédé Siemens, il faut payer, croyons-nous, 3 p. 100 de l'or extrait (environ 0 fr. 50 par tonne). Avec le procédé Forrest, le prix demandé est, il est vrai, plus considérable, jusqu'à 7 et 9 p. 100 de l'or produit ; mais son exagération même a amené les Sociétés minières du Rand à contester la solidité du brevet, et les précédents créés dans la même question par des jugements prononcés en d'autres pays leur donnent bon espoir d'obtenir gain de cause ; en attendant, sauf pour les Sociétés qui avaient fait des contrats antérieurement au procès, les sommes à payer ne sortent pas de la caisse et ne figurent sur les comptes que pour mémoire, à titre de fonds de réserve créés pour parer à toute éventualité.

Par tous les procédés que nous venons de passer en revue, on arrive à extraire des minerais 80 à 85 p. 100 de l'or contenu.

La proportion des divers produits a été, par exemple, à la Crown reef, d'avril 1894 à avril 1895, la suivante (en tonnes métriques) :

				Or retiré par tonne		Or perdu
Tonnes broyées 180.700 t. à 18s.35 d'or fin par tonne	donnant	batterie	180.700 fr.	10s,50	57,76 p. 100	»
		concentrés.	5.700 soit 3 p. 100	1 ,04	5,78 —	0,11 = 0,67 p. 100
		résidus sableux (tailings)	119.200 — 66 —	3 ,50	19,21 —	1,45 = 8,20 —
		résidus argileux (slimes)	55.800 — 31 —	.....	.....	1,75 = 9,97 —
			180.700	15 ,04	81,31 p. 100	3,31 18,84 p. 100

Voici d'autres chiffres correspondant, d'après M. Hatch,

à la moyenne de l'or extrait de la série du Main-Reef depuis quelques années :

Amalgamation (batterie)	14gr,28	12gr,60
Concentrés chlorurés	0 ,21	0 ,20
Concentrés cyanurés	0 ,24	0 ,17
Tailings	4 ,55	3 ,19
	19 ,28	16 ,16
Tailings en excès	1 ,40	0 ,98
	20 ,68	17 ,14

Le tableau relatif à la Crown reef met bien en évidence la forte proportion d'or qui se perd actuellement dans les slimes : environ 0,1 de l'or total. C'est dans la réduction possible de cette perte que réside une des plus grandes améliorations à espérer pour l'avenir du Transvaal ; aussi dirons-nous, pour terminer, quelques mots des efforts tentés pour porter remède à ce défaut du traitement.

La première idée que l'on cherche à réaliser est de commencer par réduire la proportion des slimes eux-mêmes et c'est, en partie, le but poursuivi dans les dernières tentatives de broyage par cylindres, etc. : on reproche, en effet, avec raison, aux pilons de broyer trop longtemps la même poussière fine, dont ils aplatissent peu à peu les grains, de manière à former cette substance savonneuse, légère, qu'on appelle le slime. Il paraît y avoir beaucoup à faire dans cette voie ; mais ce n'est pas sans hésitation qu'on peut renoncer à un appareil simple, bien connu, et ayant fait ses preuves comme le pilon, pour se lancer dans la nouveauté ; aussi est-il prudent d'attendre le résultat des expériences en cours, pour se prononcer.

A côté de cela, on a cherché à traiter les slimes, une fois produits, par deux méthodes qui semblent assez contradictoires : les uns en mélangeant d'une façon bien régulière une certaine proportion de slimes aux résidus quartzeux,

ou tailings (procédé adopté au Champ d'Or) ; les autres, en poussant jusqu'à ses dernières limites la séparation des slimes proprement dits, argileux et rebelles à la filtration du cyanure et des sables quartzeux, extrêmement fins, généralement confondus avec les slimes, mais qui, malgré leur finesse extrême, se prêtent encore au traitement simple. C'est ce dernier système, — le plus rationnel, croyons-nous, — qui a été adopté à la Central Ore Reduction Cy, où il doit actuellement commencer à fonctionner en grand, et que nous croyons intéressant de décrire.

Cette Société a récemment acheté les slimes de quelques Compagnies à minerais riches, comme la Robinson, à des conditions qui, si nous ne nous trompons, sont les suivantes : 2 fr. 50 par tonne, plus moitié du benéfice net de l'opération, ce dernier calculé en tenant compte d'un amortissement des installations en 5 ans ; ce qui, pour 200.000 tonnes de la Robinson, correspond à environ 1 fr. 30 par tonne. Par le même contrat, la Robinson s'est engagée à fournir à la Société, pendant cinq ans, au même taux les slimes qu'elle produira.

A la suite de ce contrat, une usine a été installée sur les terrains de la Robinson, usine dans laquelle on commencera par faire subir aux slimes, retirés de leurs bassins de dépôt, une préparation destinée à en extraire environ 40 p. 100 de sables quartzeux extrêmement fins qu'ils contiennent.

A cet effet, les slimes, mélangés d'eau, passent d'abord à travers un trommel et une grille, puis sont entrainés dans une série de spitzlutten à courant d'eau ascendant assez faible pour permettre la précipitation d'une partie des éléments quartzeux. Ces sables fins, divisés par cette préparation en trois catégories suivant leurs dimensions, vont d'abord dans des cuves de dépôt, puis dans d'autres cuves de traitement peu profondes, où on les traite comme d'habitude par la cyanuration.

Cette partie de l'opération est celle dont les résultats semblent, dès à présent, les mieux assurés. D'autre part, il reste, sur la masse totale de slimes, ainsi classifiées, 60 p. 100 de slimes proprement dits, noyés dans un flot d'eau très abondant et qu'il s'agit de recueillir : c'est là, en pratique, une chose fort compliquée ; car ces parcelles très fines sont un temps énorme avant de se déposer. On espère activer suffisamment cette précipitation par un produit chimique gardé secret, dans lequel il entre, paraît-il, de la chaux, et on laissera se perdre l'excès qui aura refusé de se précipiter (*).

Les slimes arriveront alors dans des cuves de cyanuration, où on les maintiendra au moyen de bras mobiles dans un état d'agitation continue (**). L'or des slimes étant à l'état de particules extrêmement fines, parfois microscopiques, se dissout aisément à la condition de maintenir les matières en suspension par une agitation continue ; mais il faut arriver à bien séparer la dissolution de cyanure d'or des slimes traités, avant de rejeter ceux-ci comme stériles; car tout ce qu'ils retiendraient de cyanure aurifère serait perdu, et c'est là également une question assez délicate.

Si l'expérience tentée réussit, on arrivera peut-être à retirer les 2/3 de l'or contenu dans les slimes, ce qui représenterait environ 6 p. 100 de l'or total des minerais. Avec un chiffre de production qui dépasse 180 millions par an, la conséquence pratique, on le voit, serait énorme. Mais c'est à peu près la dernière limite qu'on puisse espérer atteindre dans cette voie et, quand on aura extrait ainsi près de 90 p. 100 de l'or contenu, il sera bien difficile de récupérer le reste; en effet, l'or ainsi perdu est, en grande partie, de l'or emprisonné dans des grains de quartz ou de pyrite, sur lequel les dissolvants n'ont pu agir. Pour l'extraire, il faudrait donc théoriquement reprendre et rebroyer les derniers résidus qui constitueraient des minerais à 2 ou 3 grammes d'or au plus : ce qui serait folie évidente, alors qu'on laisse avec raison sans y toucher, dans le sol, des couches entières de minerais à 6 ou 7 grammes.

(*) Cette partie des installations n'était pas encore construite lors de notre départ de Johannesburg, à la fin de septembre.

(**) On a également proposé d'opérer cette réaction dans des conduites en bois inclinées au milieu d'un courant d'eau, ou de faire arriver dans les cuves des jets d'air comprimé pour brasser constamment les slimes.

D'autre part, une petite portion de l'or pourrait bien encore être obtenue en prolongeant très longtemps l'action du cyanure ; mais, là encore, les bénéfices ne couvriraient pas les frais. Il faudra donc se résigner, de ce côté, à ne plus faire que des progrès relativement insignifiants.

En résumé, avec les procédés actuels, les frais d'exploitation et de traitement par tonne métrique de minerai, non compris l'amortissement des installations, varient de 22 francs par tonne de 1.000 kilogr. à 80 francs et sont, en moyenne, de 32 à 35 francs, comme le montrent deux tableaux ci-joints, l'un donnant seulement le prix total, l'autre, le prix détaillé (*) : c'est-à-dire que la teneur limite à laquelle un minerai paye les frais est actuellement de 10 à 11 grammes, quand il s'agit d'une mine couvrant, en même temps, ses frais généraux par des minerais plus riches, et de 13 à 14 au moins, s'il s'agit de la moyenne réelle des minerais traités; le surplus constitue le bénéfice.

(*) Les deux tableaux ne se rapportent pas à la même période de temps : ce qui explique pourquoi les chiffres du total n'y concordent pas exactement. A la Crown reef, par exemple, les frais d'exploitation étaient de 30 fr. 90 en janvier 1893, de 29 francs en juin 1893 ; par une diminution progressive, ils sont arrivés à 20 fr. 40 en mars 1895.

TABLEAU I. — *Frais d'exploitation par tonne broyée. — Résultats moyens du 1er semestre 1895.*

	City and Suburban	Crown Reef	Geldenhuis Estate	George Goch	Johannesburg Pioneer	Jumpers	May Consold	Metropolitan
Nombre de tonnes métriques broyées...	86.949	94.646	57.317	30.457	9.822	53.107	41.010	25.55
Frais d'exploitation par tonne métrique; comprenant l'extraction, le broyage, le traitement métallurgique, le transport, l'entretien, les frais généraux et l'amortissement des travaux préparatoires.	fr. c. 36.97	fr. c. 37.34	fr. c. 33.41	fr. c. 36.93	fr. c. 32.19	fr. c. 39.21	fr. c. 29.83	fr. c. 34.43

	Meyer and Charlton	New-Chimes	New-Kleinfontein	New-Rietfontein	Princess Estate	Robinson	Roodepoort Durban	Simmer and Jack	Wolhuter	Salisbury
Nombre de tonnes métriques broyées...	19.980	22.311	29.251	17.194	16.006	50.481	43.445	59.078	19.306	16.084
Frais d'exploitation par tonne métrique; comprenant l'extraction, le broyage, le traitement métallurgique, le transport, l'entretien, les frais généraux et l'amortissement des travaux préparatoires.	fr. c. 38.82	fr. c. 38.22	fr. c. 34.75	fr. c. 51.43	fr. c. 60.82	fr. c. 43.57	fr. c. 31.48	fr. c. 33.04	fr. c. 52.72	fr. c. 83 22 (*)

(*) Ce chiffre, pour la Salisbury, correspond à l'année finissant en juin 1894.

TABLEAU II. — *Détail des frais d'exploitation par tonne de 1.000 kilogr. broyée, dans quelques mines du Rand.*

	CROWN-REEF 30 mars 1894 au 30 mars 1895	FERREIRA juin-décembre 1894	GEORGES GOCH avril-août 1894	LANGLAAGTE ESTATE année 189
Nombre de tonnes métriques broyées dans la période correspondante	200.785	25.100	32.200	259.00
Nombre de tonnes métriques de tailings traitées par la cyanuration	132.411	21.000 (**)	20.715	283.250
Abatage, extraction, épuisement	fr. c. 20.40	fr. c. 18.20	fr. c. 12.90	fr. c. 10.40
Transport du minerai de la mine à l'usine	0.20	0.40	0.40	0.30
Broyage	3.75	7.25	5.10	3.70
Frais généraux	3.20	»	5.40	1.75
Tracages				
Traitement des résidus de l'amalgamation, par tonne broyée (*)	1.55	10.00	6.25	3.10
Traitement des concentrés	3.60	6.57	2.63	3.40
	»	»	»	»
Total	32.70	42.42	32.68	22.35
(*) Traitement des résidus de l'amalgamation, par tonne traitée au cyanure	5.00	9.85	5.00	5.20

	SIMMER AND JACK janvier-juin 1895	ROODEPOORT United juin 1894-juin 1895	NEW-PRIMROSE 1er semestre 1895	HENRY NOURSE 30 juin 1894-30 juin 1895	GLENCAIRN juin 1894-juin 1895	GEORGES AND MAY 30 juin 1893-30 juin 1894	GELDENHUIS ESTATE mars 1894-mars 1895	CITY AND SUBURBAN année 1894
Nombre de tonnes métriques broyées dans la période correspondante	55.136	61.467	139.034	29.366	80.603	9.004	106.828	119.849
Nombre de tonnes métriques de tailings traitées par la cyanuration	84.200	70.716	90.649	20.830	64.635	6.500	109.465	135.402(***)
Abatage, extraction, épuisement	fr. c. 16.20	fr. c. 25.00	fr. c. 14.97	fr. c. 33.85	fr. c. 13.39	fr. c. 9.05	fr. c. 13.80	fr. c. 17.60
Transport du minerai de la mine à l'usine	0.90		1.50	2.05	0 50	1.85	0.80	»
Broyage	6.10	4.55	2.76	6.95	4.04	5.10	5.10	6.10
Frais généraux	2.50	2.80	0.75		3.98	5.50	1.35	2.80
Tracages				»				
Traitement des résidus de l'amalgamation, par tonne broyée (*)	4.25	»	2.68	10.00	8.28	2.50	7.60	6 20
Traitement des concentrés	»	3.40	3.75	7.24	5.10	2.14	3.35	3.70
	2.90 (****)	»	»	»	»	»	»	»
Total	36.85	35.75	26.41	60.09	35.29	26.14	32.00	36.40
(*) Traitement des résidus de l'amalgamation, par tonne traitée au cyanure	»	5.10	5.75	10.90	6.37	3.20	5.00	5.55

Remarques générales. — Les frais ne comprennent pas l'amortissement des installations et traçages (déprécia-tion). De plus, à chaque tonne de minerai traité correspondent seulement 65 à 75 p. 100 de tailings. Le total des tailings traités dans un temps donné par une mine peut comprendre, en outre, des tailings accumulés pendant une période antérieure ou, au contraire, ne pas comprendre tous les tailings produits. Il est donc impossible d'admettre brutalement le chiffre de frais obtenu. Nous avons réduit en conséquence la dépense à la cyanuration par tonne de tailings de manière à avoir la dépense proportionnelle afférente à la tonne de minerai extrait.

Quand le chiffre des tonnes traitées a été supérieur à celui des tonnes broyées, nous avons considéré les frais par tonne broyée comme équivalents aux 2/3 des frais par tonne traitée à la cyanuration.

(**) Nous n'avons pu trouver le chiffre des tailings traités pendant cette période. Nous l'avons déduit du chiffre des tailings pour tout l'exercice.

(***) Ce chiffre comprend 48.336 tonnes de tailings et 86.566 tonnes de nouveaux tailings. Nous avons pris le chiffre moyen des dépenses pour ces deux catégories.

(****) Les tailings de la Simmer and Jack étaient vendus jusqu'au 1er juillet 1895; le prix que nous donnons ici pour leur traitement est donc fictif et uniquement destiné à permettre de comparer le prix de revient total avec celui des autres mines.

Des variations de prix du simple au triple, telles que celles manifestées par ces tableaux, avec des minerais aussi analogues les uns aux autres, sont bien faites pour étonner, et il est probable qu'on doit les interpréter, en partie, comme nous l'avons dit plus haut, par les erreurs commises dans la façon toujours très approximative de compter les tonnes extraites (*). Néanmoins, il est bien évident aussi que, dans certaines mines riches (et même dans d'autres qui le sont moins) on ne fait pas toutes les économies qu'il serait possible de réaliser; sans atteindre le prix de revient tout particulièrement bas de la Langlaagte Estate (22 fr. 55 par tonne métrique), on pourrait, ce semble, dans bien des cas, arriver à 30 ou 35 francs comme à la Geldenhuis Estate, à la Crown reef, etc. Il y a, de ce côté, bien des progrès à attendre et, par suite, des espérances à concevoir.

Si nous ajoutons à cela le bénéfice qui peut résulter, un jour ou l'autre, du traitement des slimes, la diminution qu'on finira sans doute par obtenir dans le prix de certaines substances, comme le charbon (grevé par l'État de frais de transport excessifs), la dynamite (monopolisée), etc., il y a, ce nous semble, de quoi contrebalancer les craintes que peut faire concevoir la disette actuelle de main-d'œuvre et, par suite, nous sommes, en résumé, porté à supposer que le bénéfice par tonne, à teneur égale, ira dans l'avenir plutôt en augmentant qu'en diminuant, même avec un approfondissement des exploitations, qui, pour des mines aussi sèches et probablement destinées à le rester au moins quelque temps encore, se traduira, en somme, par un supplément de dépenses d'extraction et de frais d'installation première assez insignifiant.

(*) Le triage plus ou moins complet a, d'autre part, une influence sur ce prix de revient, puisqu'il répartit les dépenses entre un moindre nombre de tonnes (il est vrai plus riches). Cette cause peut influer, par exemple, sur le prix de revient de la Ferreira, qui est la mine où ce triage est de beaucoup le plus complet.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE. — ÉTUDE GÉOLOGIQUE.

Pages

A. — Géologie générale de la région ....
1° Les roches cristallines et la série ancienne aurifère.... 10
2° Les dépôts à houille du Karoo..... 41
B. — Étude spéciale de la série aurifère du Witwatersrand :
Allure générale des couches. — Leur plongement. — Relation possible de la richesse en or avec la nature minéralogique des couches. — Description stratigraphique des différents reefs aurifères du Nord au Sud et d'une extrémité à l'autre du Witwatersrand : Rietfontein reef, Main reef, Kimberley et Bird reef, Nigel reef, Black reef, reef de Buffelsdoorn..... 46
C. — Description détaillée et étude minéralogique des roches constituant les minerais d'or..... 132
D. — Teneur en or des minerais. Ses variations suivant la direction et l'inclinaison des couches (deep levels)..... 145
E. — Origine et mode de formation des dépôts aurifères du Witwatersrand..... 160

DEUXIÈME PARTIE. — EXPLOITATION ET TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE. PRIX DE REVIENT.

Progrès et essais récents (broyage à sec, précipitation de l'or par l'électricité, traitement des slimes)..... 169

BULLETIN

PRODUCTION MINÉRALE DE L'AUSTRALASIE EN 1893

	QUANTITÉS	VALEURS
Nouvelle-Galles du Sud		
	tonn. métr.	francs
Houille	3.330.781	29.550.828
Coke	18.144	510.276
Schistes à huile	56.550	2.552.768
Fonte et oxyde de fer	1.280	38.486
Cuivre	2.100	1.473.503
Plomb argentifère et minerais de pomb	217.688	74.489.515
Plomb (en saumons)	433	106.050
Argent	16.546kg	1.970.464
Or	5.576kg	16.425.433
tain	2.830tm	5.794.118
Minerai d'antimoine	1.802	632.820
Minerai de cobalt	26	7.692
Alunite	834	82.822
Opale	204	310.584
Queesland		
Houille	268.633	3.161.075
Minerai de cuivre	302	96.390
Minerai d'argent	696	436.533
Argent	10.552kg	1.069.530
Quartz aurifère (exporté)	48tm	29.558
Or	19.189kg	54.457.294
Minerai d'étain	2.473tm	2.697.355
Minerai de wolfram	4	1.210
Minerai d'antimoine	30	7.263
Minerai de bismuth	75	269.249
Pierres précieuses	»	113.500
Victoria		
Houille	93.193	1.239.992
Lignite	4.570	55.660
Plomb (en saumons) (exporté)	108	23.782
Argent (exporté)	1.234kg	150.891
Or	20.874kg	67.703.292
Zinc (exporté)	164tm	60.679
Minerai d'étain	54	54.727
Minerai d'antimoine et régule	96	17.553

	QUANTITÉS	VALEURS
Australie du Sud		
	tonn. métr.	francs
Minerai de cuivre (exporté)	1.279	146.478
Cuivre (exporté)	4.399	5.270.14
Minerai de plomb argentifère (exporté)	34	10.592
Plomb (exporté)	20	4.706
Or	1.052kg	3.241.173
Minerai de manganèse (exporté)	2.467tm	160.374
Zinc (exporté)	73	23.454
Sel	7.229	235.58
Australie Occidentale		
Minerai de cuivre (exporté)	»	15.283
Or (exporté)	3.449kg	10.627.330
Minerai d'étain (exporté)	232tm	280.799
Tasmanie		
Houille	34.587	858.539
Minerai de cuivre	59	61.814
Minerai de plomb argentifère	14.531	5.008.944
Or	1.158kg	3.678.967
Minerai d'étain	4.781tm	5.205.685
Nouvelle-Zélande		
Houille	702.613	9.682.084
Coke	52	1.337
Argent	1.962kg	245.718
Or	7.055kg	23.029.340
Minerai de manganèse	324tm	23.782
Minerai d'antimoine	336	87.438

(Extrait des *Mineral Statistics of the United Kingdom of Great Britain for the year* 1894.)

PRODUCTION MINÉRALE DES COLONIES ANGLAISES DE L'AFRIQUE EN 1893.

	QUANTITÉS	VALEURS
Natal		
	tonn. métr.	francs
Houille	140.828	3.452.038
Or	3kg,5	10.062
Quartz aurifère (exporté)	»	5.624
Minerai de plomb (exporté)	»	1.245.565
Minerai de plomb argentifère (exp.)	»	37.800

	QUANTITÉS	VALEURS
Cap de Bonne-Espérance		
	tonn. métr.	francs
Houille	59.939	1.497.740
Minerai de cuivre	23.478	8.266.233
Or (*)	46.637kg	132.635.000
Sel	955tm	46.657
Diamants	2.813.745 carats	96.711.323
Crocidolite (exportée)	12.102kg	33.416
Amiante (exporté)	37.080kg	15.510
Côte d'Or		
Or et poudre d'or	683kg	1.994.876

(Extrait des *Mineral Statistics of the United Kingdom of Great Britain for the year* 1894.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BAVIÈRE EN 1894.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	NOMBRE d'ouvriers
1° *Mines et Salines*			
	tonnes	francs	
Houille	806.390	9.864.704	4.918
Lignite	20.687	85.592	104
Minerai de fer	138.977	704.720	635
— de manganèse	80	1.350	2
Pyrites de fer	1.928	23.741	43
Graphite	3.133	228.660	»
Sel-gemme	630	20.607	109
2° *Usines*			
Fonte	75.864	4.360.745	455
Fer en barres	46.860	6.880.845	2.202
Acier	86.594	10.111.619	481

(Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen.*)

(*) Il s'agit là évidemment, bien que la Statistique anglaise ne le dise pas, d'or simplement exporté par le Cap, et provenant en réalité du Transvaal.

ÉTUDE ADMINISTRATIVE

SUR LES MINES DE RANCIÉ

Par M. VILLOT, Inspecteur général des Mines.

Entrée BIBLIOTHÈQUE 1 Juin ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES DE PARIS

INTRODUCTION.

Une formule a été prononcée souvent dans ces dernières années comme exprimant, aux yeux de certaines personnes, l'idéal vers lequel le progrès devrait conduire les générations futures dans l'exploitation des richesses minérales : « La Mine aux Mineurs! »

Notre législation minière, est-il besoin de le dire, ne s'oppose nullement à ce qu'une mine soit concédée à des ouvriers mineurs, qui sont des citoyens comme les autres. Des exemples en pourraient être cités. Mais ce n'est point ainsi qu'on l'entend dans l'école économique à laquelle je fais allusion. Il s'agirait, autant qu'on peut en juger, d'élever à la hauteur d'un principe nouveau le fait que le mineur, en arrachant aux profondeurs du sous-sol la matière qu'il poursuit, la crée à ce moment même, en l'abattant, et en prend alors possession, sorte de main-mise incessamment renouvelée de la force intelligente sur l'aveugle matière. La logique conduirait nécessairement à généraliser cette formule et à l'appliquer à toutes les industries, puisque qui dit industrie, dit main-d'œuvre, et que sans main-d'œuvre il n'y a pas de produits.

On pourrait se livrer sur ce sujet à des discussions théoriques interminables ; si l'on se rappelait en même temps que, en dehors des mathématiques pures, toutes les connaissances humaines reposent sur l'étude des faits et sur les lois que l'expérimentation permet d'en déduire, on pourrait regretter de ne pouvoir instituer quelque part une mine où l'on ferait l'expérience loyale et suffisamment prolongée du principe nouveau et l'étude de toutes ses conséquences. Or, il se trouve que justement, et par suite de circonstances diverses et très spéciales, quelques cas existent sur notre territoire où des exploitations minérales, s'écartant du droit commun et du droit minier, se rapprochent plus ou moins de la situation qu'il faudrait créer. Leur étude ne peut manquer, dès lors, d'offrir un réel intérêt. Le plus remarquable de ces cas particuliers est celui des mines de fer de Rancié (Ariège). Par leur existence très ancienne, par les modifications successivement tentées pour parer aux maux dont elles ont été le théâtre, par la dernière, toute récente, qui vient d'y être réalisée, il me paraît que l'historique de ces mines constitue un enseignement de premier ordre, en même temps que, au point de vue technique et administratif, il en peut sortir des aperçus assez curieux. J'ai tenté de réaliser ce programme dans les lignes qui vont suivre.

Les documents anciens que je citerai ont été déjà mentionnés dans le grand ouvrage de François, mort il y a quelques années, inspecteur général des mines, et qui, au début de sa carrière, dans ses *Recherches sur le Traitement des Minerais de fer dans les Pyrénées*, publiées en 1843, préludait aux travaux si remarquables sur les sources thermales qui feront vivre son nom.

§ 1^er^. — NATURE DU GÎTE DE RANCIÉ.

Les deux versants des Pyrénées présentent en nombre considérable des vestiges d'exploitation de minerais métalliques remontant évidemment à des époques très reculées. Les mines de fer y sont nombreuses. Celle de Rancié, qui s'est maintenue en activité jusqu'à nos jours, prend son nom d'un pic qui s'élève sur le flanc droit de la vallée de Vicdessos, parcourue par un affluent de l'Ariège qui rejoint la rive gauche de ce dernier cours d'eau à Tarascon. Elle présente cette particularité que, depuis au moins la fin du XIII^e^ siècle, et probablement longtemps avant, elle a été exploitée dans des conditions toutes spéciales. Bien que le but de ce travail soit essentiellement celui que j'ai exposé plus haut, il n'est pas sans intérêt, dans une courte digression technique, de donner avant tout une idée générale du gite.

On a discuté sur sa nature ; plusieurs personnes ont voulu y voir un gisement interstratifié, et appuient leur opinion sur la considération que le minerai se montre fréquemment compris entre les bancs de calcaire qui le renferment parallèlement sans offrir l'apparence du filon classique avec les épontes et les matières de remplissage qui décèlent aux yeux une formation filonienne, mais l'étude approfondie de l'ensemble ne permet pas de se tenir à cette opinion ; dès 1863, M. l'ingénieur Mussy avait établi avec force que le gîte n'est point contemporain des bancs qui le contiennent. Ce qui rendait la distinction difficile, c'est que la différence entre la direction des calcaires et celle du gîte est faible, quelques degrés seulement, et qu'il en est de même en ce qui concerne les inclinaisons, lesquelles sont toutes deux dirigées dans le même sens, vers le sud. Cet autre fait que ces inclinaisons des bancs

et du gisement sont variables, quand on les considère à différents niveaux, ne contribuait pas à simplifier la question. Dans l'ensemble, les deux directions sont est-ouest; mais, à mesure que l'on avance vers l'est dans les galeries de niveau, celle qu'affecte le minerai tend à se rejeter vers le sud. Quant aux inclinaisons, oscillant autour de 50° au sommet du pic de Rancié à la cote de 1.600 mètres environ, elles augmentent progressivement à mesure qu'on descend vers les niveaux actuellement en activité, et cette augmentation progressive se fait sentir aussi bien sur le minerai que sur la roche encaissante; au plus bas niveau, elle atteint 75° et dépasse même parfois cette valeur pour les calcaires. Ce qui achève de lever toute espèce de doute sur la nature du gîte, c'est qu'il a pour cortège ou ramifications, soit dans le toit, soit surtout dans le mur, des veines latérales qui s'en détachent et s'enfoncent plus ou moins profondément dans la roche encaissante. L'une d'elles, et la plus importante, la veine de la Canale, autrefois largement exploitée, présente une direction et une inclinaison qui n'ont plus rien de commun avec celles du gisement principal, et son caractère de fracture ne peut être nié un seul instant. Enfin, pour preuve surabondante, on peut encore citer l'irrégularité dans le remplissage du gîte, qui offre des épaisseurs extrêmement variables depuis zéro jusqu'à 30 mètres de traversée horizontale, avec, à un haut degré, la structure en chapelet. De grands espaces stériles, tantôt marqués par une trace argileuse et ocracée, tantôt absolument dépourvus de tout indice conducteur, séparent entre elles les parties riches, et celles-ci, examinées à diverses hauteurs, éprouvent aussi, dans le sens de la direction générale, des épanouissements ou des serrements impossibles à prévoir *a priori*. Au sein d'une masse riche, il n'est pas rare de rencontrer des bosses se rattachant soit au toit, soit au mur; et, parfois aussi, environnés de toutes parts de

minerai, des blocs calcaires, arrondis sur leurs parois, achèvent de rendre incontestable le caractère de fracture postérieure au dépôt et à la consolidation du terrain, et remplie plus tard de la matière adventive.

On se représenterait, en somme, assez bien la genèse du gîte de Rancié en concevant une série de fractures dont les principales, tantôt larges, tantôt étroites, tantôt dans le prolongement, tantôt presque dans le prolongement l'une de l'autre, affectent dans leur ensemble une direction est-ouest; elles se seraient produites, il est naturel de le penser, au moment du soulèvement de la roche encaissante par les granites voisins, qui affectent une direction semblable, et ainsi se trouverait expliqué ce fait remarquable dont il n'est pas possible de ne pas tenir compte, à savoir que les directions du gîte et des strates sont en gros les mêmes; il y aurait eu, au sein de la masse calcaire solide, une sorte d'arrachement parallèle à l'axe du soulèvement. Les veines secondaires, la Canale et autres, représenteraient des phénomènes d'arrachement secondaires concomitants et contemporains du premier, tout comme d'ailleurs les petits déplacements du gîte, soit verticaux, soit horizontaux. Les vides irréguliers ainsi formés auraient été remplis ultérieurement par des eaux chargées d'oxyde de fer tenu en dissolution à la faveur des fortes pressions, de l'acide carbonique et de la silice, dont témoignent encore les parties que l'on rencontre en diverses régions profondes où apparaît le minerai sous forme de carbonate siliceux dur, jusqu'à présent tenu pour inutilisable.

Quand on arrive, après avoir monté de 300 mètres environ, depuis Vicdessos, en vue du village de Sem (cote 1.000 mètres), on a devant soi le pic de Rancié, et, de son sommet, l'on voit descendre une zone rouge marquée par des excavations et des éboulements présentant par place l'aspect d'un chaos. Ce sont les diverses entrées

pratiquées dans le cours des siècles en descendant successivement le long de l'affleurement, depuis la grande tranchée à ciel ouvert située au sommet même du pic. Aujourd'hui, les seuls niveaux en activité sont au nombre de trois, savoir : le plus élevé, celui de Sainte-Barbe; celui de Becquey, à 140 mètres environ au dessous, et situé un peu au-dessus du village de Sem ; et, enfin, celui dit de la République, ouvert, il y a douze ans environ, à 80 mètres au-dessous de Becquey. Les divers renflements rencontrés au niveau de Becquey, à partir du point où le travers-bancs de ce nom, après 350 mètres de parcours, a recoupé le filon, portent, en allant de l'ouest à l'est, les noms suivants : l'Espérance, l'Escudelle d'en bas, l'Escudelle d'en haut, les Grottes, le Petit-Gite, la Fontaine, le Grand-Gite ou l'avancée de Becquey, et la Petite-Veine. Sur une longueur totale de la galerie, dans la fracture utile, qu'on peut estimer à 750 mètres, il faut compter un peu moins des deux tiers dans ces épanouissements féconds : le reste est dans la trace stérile ou en plein rocher.

§ 2. — HISTORIQUE.

Charte de 1293. — Le plus ancien monument écrit se rapportant aux mines de Rancié est une charte de Roger Bernard, comte de Foix et de Castelhon, remontant à 1293, et qu'il faut nécessairement citer quand on s'occupe de leur régime. Dans l'ouvrage de François, il en est donné un court extrait ; lorsqu'on le compare à une traduction plus récente (*) et très complète, qui a paru en 1865, on constate quelques divergences ; cette dernière a l'avantage de montrer que, contrairement à ce que l'on pourrait

(*) *Recueil des Titres authentiques concernant les Mines de Rancié*, réunis par les soins de M. Raymond Barbe. Toulouse, 1865.

croire, le privilège concernant les mines de fer était une partie très faible de l'ensemble des libéralités auxquelles se livrait le seigneur : citons seulement quelques lignes, en deux passages différents, sur huit pages de traduction, où il est question de mille choses. Ces deux passages sont ainsi rapportés dans l'ouvrage précité :

« Nous donnons et accordons plein pouvoir à tous et à chacun de ladite vallée de fabriquer et d'aiguiser tous les instruments de fer, de quelque nature qu'ils soient, comme ils voudront, et suivant leur volonté, en quelque lieu que ce soit, et pour qui que ce soit, les ouvriers étant à leur choix, ne les astreignant pas d'aller à telle fabrique plutôt qu'à telle autre, sans s'en tenir à ce qui aurait été autrement réglé, en les dégageant des restitutions et promesses faites aux taillandiers ou à leurs commis.

« Voulons, accordons et ordonnons que nous ou qui que ce soit, tant nos baillis que nos officiers, ne puissent faire aucune défense aux habitants présents et à venir ou à quelqu'un des leurs sur leurs mines ou à cause de leurs mines de fer dans ladite vallée, et jusqu'aux limites fixées plus bas, à moins que les mineurs, les forgerons ou leurs garçons, les ouvriers et les chefs de forge travaillant dans lesdites mines n'agissent avec fraude et injustement, etc... »

Il faut encore reproduire les lignes suivantes :

« Accordons aux susdits habitants et à chacun d'eux plein pouvoir de pêcher, de se baigner, de puiser de l'eau dans toutes les fontaines, ruisseaux et rivières, de s'en servir pour les irrigations et usines, de faire du charbon, couper les arbres... etc... »

En somme, le territoire cultè et inculte, montagne et plaine, prés et forêts étaient englobés dans la donation. Spécialement pour ce qui concernait les minerais de fer, il était permis de les exploiter, de les travailler, de les vendre sans payer aucun droit (leude), mais tout cela *dans les limites de la vallée*.

Comment la propriété individuelle ordinaire s'y constitua-t-elle peu à peu? Le problème dépasse singulièrement la région géographique considérée, il ne rentre pas dans mon sujet et je me garderai bien de l'aborder. Tout au plus peut-on dire, par simple aperçu, que les champs et les prés, la montagne et la plaine, que tout ce qui peut se partager en plein soleil se prêtait plus facilement à la division superficiaire que ce bien particulier qui s'enfonçait sous terre et y suivait une direction inconnue. Comme, au demeurant, la matière était abondante et d'excellente qualité, que chacun, avec un trou dans la terre et un soufflet portatif en peau (*), pouvait faire sa pelle, ou son soc, ou son marteau, ou même son épée, on puisait au gite et l'on commençait le gaspillage que l'avenir devait développer.

Charte de 1304. — Dix années à peine après l'octroi de la charte en question, s'élèvent déjà des difficultés sur le mode de jouissance. Roger Bernard n'avait pas prévu le transport du minerai ou du fer hors des limites qu'il avait tracées. Grave lacune ! Mais son fils et successeur n'entendait pas se priver de *leude* pour d'autres que les habitants de la vallée de Vicdessos. Aussi, dès 1304, une autre charte du comte Gaston dispose que « lesdits habitants ont pu et pourront à l'avenir tirer la pierre de fer de nos dits miniers dans les susdites limites, et la travailler à leur volonté sans nous donner aucun subside de leude ou de péage, et de ladite mine en faire du fer dans les limites de la vallée et non ailleurs; et ne pourront vendre ladite mine à aucun étranger dans la vallée ; s'ils le font, que lesdits étrangers nous paient et soient tenus de payer ladite leude dans les susdites limites ».

La timide restriction introduite ne pouvait avoir grand

(*) François, *loc. cit.*, p. 317.

effet. Il était si facile, d'ailleurs, pour ne point vendre la mine et le fer dans la vallée aux étrangers, de les leur porter! De cette façon, « ladite leude » n'était pas payée au comte, et le mineur pouvait en exiger tout ou partie pour ses peines et soins. Et puis, la mine, même vendue dans les limites assignées, ne l'était pas en un seul et même lieu. Où placer les officiers chargés de colliger la redevance ? Il fallait pourvoir à ces nouvelles difficultés.

Charte de 1355. — C'est pourquoi le comte de Foix intervient encore, par l'intermédiaire, cette fois, de noble et puissant homme Raymond d'Alby, seigneur de Gaure, son sénéchal. En 1355, la population étant représentée par les consuls de Vicdessos, il est dit et convenu que le seigneur sénéchal accorde ou confirme toutes sortes d'exemptions de redevances et paiements de leudes ayant trait aux objets les plus divers, « avec cette restriction et réserve spéciale expresse que pour la mine que lesdits habitants ou quelqu'un d'entre eux emportera, ils payeront la leude comme les autres étrangers qui exporteront la mine payeront et devront payer ; de même, ils seront tenus de payer la leude du fer fait de ladite mine comme les personnes qui habitent au dehors de ladite vallée payeront et devront payer » et, afin que rien de ce qui est vendu n'échappe à la redevance, il est ordonné que le minerai sera exposé « au lieu dit Pré-de-Vic et que ladite mine ne puisse être vendue ailleurs par personne ». Quant à la leude, elle sera de 2 deniers tolosains pour 3 quintaux (150 livres « payables au pas de Sabart, ou ailleurs, comme ils ont accoutumé d'y porter ».

Tout n'est-il pas bien prévu ?

Ordonnance de 1403. — Non, car on s'aperçoit que, pour échapper au fisc, les voituriers, loin de passer au pas de

Sabart ou autres lieux accoutumés, prennent le chemin de Cavallère (*). En 1403, une ordonnance du sénéchal Armand de Panderause déclare que, désormais, tous les voituriers passeront par le chemin de Vicdessos.

Mais tromper sur la leude à payer au seigneur comte n'était qu'une partie des abus; la fraude dans les transactions était devenue la règle générale: fraude sur le poids, fraude sur la qualité, etc... Il s'agissait, pour le pouvoir central, d'extirper cette lèpre. Il fallait remanier, refondre les stipulations. On y procède, cette fois, d'une manière solennelle.

Règlement de 1414. — Le 7 août 1414, Raymond Alhand de Malléon, sénéchal du comte de Foix, considérant, entre autres choses, que « les droits de leude sont réduits à rien par la négligence ou, à mieux dire, la malice de ceux qui tirent la mine », réunit dans le lieu de Vicdessos, et devant la maison de Guillaume Migne au même lieu, les nobles, les consuls, etc..., à l'effet de prendre leur avis sur le règlement qu'il voulait faire. De ce règlement datent les dispositions essentielles qui, sous des formes peu différentes, ont traversé les siècles. « Nous ordonnons que le bailli et les consuls du lieu éliront quatre prud'hommes, qui sont appelés les préposés du minier, comme il a été de tout temps accoutumé (**), qui prêteront le serment sur le *Te igitur* et *Sainte Croix* entre les mains des dits bailli et consuls, lesquels observeront et feront observer exactement ce qui sera ensuite ordonné, et, en cas de contravention, la dénonceront auxdits bailli et consuls, auxquels dits préposés il sera donné un salaire, à savoir: la huitième partie de toutes

(*) Ce chemin existe toujours ; il va de Sem à la Ramade en se tenant sur les hauteurs pour déboucher dans la partie large de la vallée.

(**) Ce sont les jurats d'aujourd'hui, qui existaient déjà avant 1414, comme on le voit.

les amendes auxquelles ceux qu'ils auront dénoncés seront condamnés (*). Lesdits préposés exerceront toute leur vie. . . . . .

« Item, ordonnons que lesdits préposés marqueront aux ouvriers qui tirent la mine, le jour de Saint-Jean-Baptiste, l'endroit où ils travailleront deux à deux, pendant toute l'année. . . . . .

« Item, les ouvriers ne pourront prendre que 8 deniers, monnaie courante, pour chaque quintal de mine audit minier. . . . . .

« Item, que, dans chaque place dudit minier, il y aura des poids justes pour ladite mine en la vendant, lesquels poids lesdits préposés seront tenus de visiter souvent, pour éviter les fraudes entre les vendeurs et les acheteurs, et, en cas ils trouveront quelqu'un se servir de poids courts, il encourra la peine de 10 livres applicables audit seigneur comte. . . . . .

« Item,..... lesdits préposés visiteront les mines tirées du minier avant qu'on ne les vende, et examineront si elles sont bonnes ou mauvaises et, en cas ils en reconnaîtront ne rien valoir, ils pourront les jeter par la montagne en bas, comme on l'a anciennement pratiqué; et celui qui leur présentera de la mauvaise mine sera condamné sans rémission en 2 sols tolosains à leur égard pour leur peine et leur travail.

« Enfin,..... lesdits habitants de ladite vallée qui voudront de la mine au prix ci-dessus établi seront préférés à tous autres acheteurs étrangers, supposé toujours que lesdits habitants ne se monopolent pas, et qu'ils ne se servent point de cette faveur pour frustrer les autres; mais qu'ils exposent en vente cette même mine à un endroit

(*) On voit stipulée ici cette coutume, qu'il nous paraît curieux de constater encore dans le règlement de 1833, de rémunérer les agents de la surveillance par une fraction des amendes. On sait qu'elle s'est perpétuée dans diverses administrations.

du lieu et la vendent à tous ceux qui en voudront audit prix de 8 deniers, leur permettant néanmoins de prendre pour le port de ladite mine, du minier jusques au lieu, 5 deniers, monnaie courante, par quintal, qu'ils pourront vendre à 16 deniers dans ladite vallée et non à plus haut prix. Que si quelqu'un est surpris à la vendre plus cher, il sera condamné à l'amende de 10 livres applicables audit seigneur comte. »

Il faut retenir de la lecture de ce document qu'il est, comme je l'ai dit plus haut, une sorte de prototype de ceux qui l'ont suivi, y compris le dernier, de 1833, remplacé tout récemment dans des vues nouvelles, comme on le verra plus loin. L'introduction du prix maximum doit attirer particulièrement l'attention. Les conventionnels de 93 devancés par le comte de Foix !... La préoccupation des poids justes, de la qualité du minerai à assurer, est aussi caractéristique. On peut se demander tout de suite si les préoccupations du bon sénéchal avaient rencontré des moyens efficaces pour combattre les abus signalés. A cet effet, franchissons les siècles et rappelons un fait: du 14 juin au 21 juillet 1889, on a dû suspendre toute extraction à Rancié, pour nettoyer et purifier les stocks des argiles qu'ils renfermaient et qui les rendaient absolument invendables. La Société métallurgique de l'Ariège, seul consommateur actuel, avait fini par se fâcher tout de bon, et refusait tout minerai jusqu'à meilleures teneurs. Le remède — énergique cependant — de jeter le minerai par la montagne en bas, bien qu'il fût déjà, en 1414, anciennement pratiqué, n'a donc pas déraciné la fraude. Et, cependant, disons-le en passant, les États de Foix en avaient trouvé un autre plus héroïque encore. Sur la requête de cette assemblée, nous voyons le roi de France, siégeant en son Conseil, prescrire aux jurats, par une ordonnance du 18 mars 1719, de ne plus jeter simplement le minerai par la montagne, mais « de le faire enterrer » !

Et les choses continuèrent ainsi à travers les siècles. Revenons au XV^e^.

Divers actes confirmatifs et réglementatifs des rois de France. — Je passerai rapidement sur les lettres patentes de Gaston IV (1437) qui reproduisent, pour assurer la perception de la leude, l'ordre formel de passer par le pont de Vicdessos; sur celles de Henri IV (1610), de Louis XIII (1611), de Louis XIV (1659), confirmant, après la réunion du comté de Foix à la couronne, les immunités anciennement accordées, etc... Mentionnons cependant un jugement du 17 septembre 1680 des commissaires en la réformation des domaines de la généralité de Montauban, qui, sur la plainte des maîtres de forge alimentés par Rancié et des voituriers, autorise la descente du minerai, contrairement aux lettres patentes de Gaston IV, *par tous les chemins*.

Mais ce n'est pas tout de faire des règlements, de promulguer des ordonnances, de fixer des prix maxima, des chemins à suivre ou à délaisser, il faut veiller à l'exécution. Les mineurs connaissent, pratiquent surtout, en fait de loi, celle de l'offre et de la demande avec âpreté. Soumis à l'insignifiante surveillance de leurs jurats, gens sans prestige pris parmi eux, ils sont, en fait, livrés à eux-mêmes. Depuis longtemps les 8 deniers par quintal sont dépassés. Il est curieux de voir l'autorité centrale vacillante, tiraillée entre les mineurs, d'une part, les maîtres de forge, de l'autre, tantôt consacrer, de la part des premiers, les empiètements qu'elle ne peut empêcher, tantôt descendre dans des détails incroyables pour y mettre un terme. En vain les États de Foix ont, en 1696, fixé un nouveau maximum (4 sols les 150 livres), en vain ont-ils déterminé les heures auxquelles les voituriers de la vallée pourront venir charger (avant 9 heures le matin, et après 2 heures de l'après-midi, l'intervalle

étant réservé aux voituriers étrangers), toutes les mesures sont impuissantes !

Peu après intervient cette ordonnance du 18 mars 1719 dont j'ai déjà cité le procédé radical, pour mettre un terme aux fraudes sur la qualité du minerai, mais qui, sur le rapport de M. le duc d'Orléans, le roi siégeant en son Conseil, légiférait sur beaucoup d'autres choses. Citons-en quelques-unes.

« Le chemin de la Cavallère sera rompu à la diligence des consuls. » On en revient, on le voit, à Gaston IV ; c'est un accès d'énergie.

« Il sera fait, sur la place du minier, deux tas ou monceaux de minerai ; les premier, troisième et cinquième des minerons seront mis au tas de droite, à l'entrée du minier ; les voyages pairs seront mis à l'autre tas, de manière que ces deux tas soient égaux. Le premier sera vendu aux habitants de la vallée ; le second, aux forains ou étrangers. » On voit que les maîtres de forge des autres vallées se plaignaient d'être toujours mal servis.

Précautions aussi vaines qu'ingénieuses !

D'abord, il paraît que la confection des tas pairs et impairs n'allait pas toute seule. Dès le 19 décembre suivant, en effet, un nouvel arrêt du consul permet aux mineurs de faire des tas particuliers du produit de leur extraction, pourvu, toutefois, que les voituriers de la vallée et étrangers soient chargés par ordre d'arrivée, sans aucune préférence... Puis, un an après (18 janvier 1721), voici de nouveau proclamée la liberté des chemins ; le triomphe posthume de Gaston IV n'a pas duré deux ans. « Le roi étant en son Conseil a reçu les syndics généraux du Languedoc et du pays de Foix, les propriétaires de forges et députés du commerce de ces deux provinces. Sa Majesté ordonne que tous les voituriers partant de la mine pourront passer par le chemin qui leur plaira ; et que les consuls de Vicdessos taxent le prix du minerai d'après

celui des denrées et le besoin du commerce des fers. »

Première idée du fonds spécial. — Parmi ces fluctuations sans portée et qu'il y a cependant intérêt à mentionner, parce qu'elles font tableau, il faut retenir, au bénéfice de l'ordonnance du 19 décembre 1719, la première apparition d'une idée féconde, celle à laquelle Rancié a dû certainement de pouvoir subsister jusqu'à nos jours : c'est la création d'un capital d'entretien. Il est prescrit aux consuls de prendre 1 sol par 150 livres de minerai qui sortira de la vallée et qui passera par Vicdessos, à condition par eux d'en tenir compte devant le sieur intendant, pour être employé tant à l'entretien des chemins qu'aux autres dépenses nécessaires pour la meilleure administration de la mine. François nous apprend, d'ailleurs (page 117 de son ouvrage déjà cité), que la perception de ce sol ne s'établit pas sans difficulté. Le 16 octobre 1720, en effet, l'intendant du Roussillon, après ordonnance de référé au Conseil du roi, avait enjoint au commis établi à Sem de surseoir à l'encaissement et de se contenter de noter les voitures qui passaient.

Règlement général de 1731. — Malgré, ou plutôt à cause de toutes ces mesures éparses, dont les unes détruisaient l'effet des autres, on devait éprouver le besoin de codifier tout cet ensemble. C'est ce qui fut fait par les soins des consuls de la vallée, qui préparèrent un règlement général, approuvé en Conseil du roi le 16 octobre 1731.

Cet acte, en 34 articles, est très complet au point de vue de la police ; il pourvoit à l'entretien des ouvrages, fixe les heures d'entrée et de sortie de la mine selon les saisons. Il fixe aussi, une fois pour toutes, le prix du minerai aux voituriers de la vallée et aux voituriers étrangers, ordonne qu'il sera transporté et vendu à la place de l'Escudelle, et non ailleurs, règle les charges que

pourront porter les muletiers, selon qu'ils les conduiront aux forges dans la vallée ou hors la vallée ; commande que dans huitaine tous les poids des forges seront échantillés (*sic*) ; et si, après avoir été échantillés, on en surprend de plus grands, les maitres à qui ils appartiendront seront condamnés à l'amende de 20 livres pour la première fois et seront poursuivis par la voie criminelle en cas de récidive ; il sera payé aux jurats, toutes les fois qu'ils conduiront au bout du pont dit de l'Oratoire des mineurs ayant contrevenu audit règlement, 40 sols payables par les coupables, et si, mal à propos, ils en amènent sans fondement, ils seront eux-mêmes condamnés aux dommages causés aux parties. Comme il se trouve, ajoute le règlement, que les mineurs soient insolvables et pour mieux les contenir en leur devoir, ils resteront dans la maison de ville jusque après avoir payé les amendes et frais auxquels ils auront été condamnés par nos ordonnances de police, etc., etc... »

On remarquera la sévérité de toutes ces dispositions.

On notera aussi un détail qui montre que, si la fraude sur les poids était malheureusement familière aux mineurs, les maitres de forge n'en étaient pas non plus innocents. En 1414, on visait les poids « courts », dans les places du minier ; en 1731, on poursuit les poids « trop grands » dont feraient usage les maitres de forge.

C'est sous l'empire de cet acte de 1731 que va vivre la mine jusqu'à la Révolution.

Période comprise entre la Révolution et 1833. — Lorsque celle-ci éclata, tous les règlements, on le comprend, furent emportés par ce vent d'orage, et il n'y a pas lieu de penser que les mineurs de Rancié en profitèrent pour se discipliner. On s'explique donc que le 5 vendémiaire an XIV une décision du ministre de l'Intérieur de Champagny, approuvant un arrêté du préfet de

l'Ariège en date du 10 messidor an XIII, qui portait règlement pour l'exploitation des mines de fer de la vallée de Vicdessos, ordonna que ce règlement serait provisoirement exécuté « jusqu'à ce qu'il ait été statué définitivement par le Gouvernement à l'égard de ces mines ». On était, en effet, dans cette période comprise entre la loi informe de 1791 et celle de 1810, où l'on sentait l'impérieux besoin de refondre la législation minière, et où, sagement, l'on considérait comme provisoire tout ce qui n'était pas l'évidence même en matière de mines. Ce règlement de 1805 est lui-même très intéressant à examiner. Il montre, tout d'abord, l'intervention dans sa préparation du Corps des Mines tel qu'il venait d'être nouvellement créé ; on vise, au préambule de la décision ministérielle approbative le rapport de l'ingénieur des mines, le sieur Brochin. On aime à retrouver ce nom bien connu des personnes qui ont parcouru les mines du Midi de la France, où il s'est perpétué, appliqué à diverses couches et à divers ouvrages indiquant ainsi la part active que prenait, dès ses débuts, au développement de l'industrie minérale, le Corps auquel nous appartenons. Ce qui frappe dans l'ensemble, c'est le double souci de la sécurité des mineurs et de la conservation d'une propriété d'intérêt national. Pour la première fois, on sent l'intervention, dans les dispositions édictées, d'une autorité technique sérieuse.

Vint, quelque temps après, la loi fondamentale sur les mines (21 avril 1810), dont le système, sinon toutes les dispositions, nous régit encore. Les habitants de la vallée ne pouvaient manquer de réclamer, sous le nouveau régime, la consécration de leurs privilèges. Dès le 27 septembre 1813, en effet, les maires de la vallée formulaient, au nom des huit communes y comprises, et en visant spécialement les articles 51, 53 et 55 de ladite loi, une demande en concession et délimitation des mines de fer exploitées à Rancié. L'article 55, spécialement appli-

cable en l'espèce, vise les situations extraordinaires existant de fait et donne au Gouvernement la faculté d'en tenir compte dans la mesure jugée convenable ; mais il y avait ici une difficulté particulière : Comment formuler l'acte qui devait attribuer « à tous et à chacun », indéfiniment, la propriété de la mine? En faire bénéficier les communes ne semblait pas bien répondre à la pensée des donateurs. D'autre part, l'Administration des Domaines intervenait et entendait démontrer que les mines appartenaient en propre à l'État, et qu'à ce titre celui-ci en pourrait tirer parti en percevant sur les exploitants un équivalent à trouver de l'ancien droit de leude. Il serait sans intérêt de rendre compte des phases nombreuses par lesquelles passa l'instruction de l'affaire. Le Conseil général des Mines était notamment opposé à ce que la demande en concession des communes fût accueillie; il remarquait qu'en fait les deux seules communes suffisamment voisines du gite pour y travailler étaient celles de Sem et de Goulier et Olbier. Il lui paraissait souverainement injuste d'appliquer aux six autres la concession qu'elles sollicitaient ensemble au détriment des véritables usagers. On créait ainsi, suivant lui, entre les divers intéressés des divergences d'intérêt qui pourraient nuire plus tard à la bonne exploitation du gite. Il voulait qu'on fît de Rancié une concession « réservée », sans s'expliquer, d'ailleurs, sur le mot, laquelle continuerait à être exploitée suivant les usages locaux et les règlements en vigueur, sous l'administration du préfet de l'Ariège et la direction du Service des Mines. En somme, c'était à peu près ne rien changer à ce qui existait ; on écartait seulement la fiction, finalement admise cependant, de la concession aux communes. Si l'on remarque, du reste, que la demande en concession est de 1813, et que l'ordonnance de concession est de 1833, que le Conseil général des Mines, dans cet intervalle, a dû donner six fois son avis sur le principal ou

les accessoires, on se convainc que la solution n'avait jamais paru très simple. Finalement on aboutit au système suivant.

Concession de 1833 *et Règlement annexe.* — Les communes furent déclarées concessionnaires, mais l'article 3 de l'ordonnance stipula que l'exploitation continuerait à avoir lieu suivant les usages locaux, conformément à un règlement général, en date du même jour, qui faisait partie intégrante de l'ordonnance, et qui se substituait ainsi à tous ceux que nous avons vus se succéder dans la suite des siècles. Or, l'article 4 dudit règlement déclare que les mineurs continueront à être payés « par la vente que fera directement chaque mineur du minerai extrait par lui ». En somme, les deux communes de Sem et de Goulier et Olbier restaient seules capables d'envoyer leurs habitants à la mine, et, comme les autres communes n'en tiraient aucun profit, le Conseil général des Mines avait satisfaction quant à ses scrupules d'équité.

L'article 4 de l'ordonnance maintient le précieux fonds spécial créé en 1719 et qu'avait de nouveau prescrit un arrêté des Consuls du 4 germinal de l'an XI. C'est l'excédant annuel de ce fonds spécial qui est considéré comme le revenu net imposable à la redevance proportionnelle.

La lecture du règlement annexé à l'ordonnance montre qu'il s'inspire des règlements antérieurs, notamment de ceux édictés en 1805 et de 1731, mais il est bien plus complexe. A mesure que l'extraction se perpétuait et s'étendait, l'autorité s'ingéniait à boucher de son mieux tant les anciennes fissures du règlement que les plus récemment révélées. Le point de vue technique y est traité avec un luxe de détails qui nous paraît maintenant puéril. On ne compte pas moins de 97 articles. Le règlement de 1414 en avait 8; celui de 1731, 34; celui de 1805, 42. Il y a progression, sinon progrès.

Je n'analyserai pas le règlement de 1833 en détail, mais je ne puis me dispenser d'en faire ressortir quelques points caractéristiques.

Le préfet de l'Ariège est l'administrateur de Rancié : il taxe chaque année le prix du minerai, nomme les mineurs de l'*Office*, c'est-à-dire ceux des habitants auxquels il est permis de travailler à la mine, ainsi que les jurats ; il est l'ordonnateur du fonds spécial. L'ingénieur en chef des mines de l'arrondissement minéralogique auquel appartient l'Ariège est chargé de la direction technique.

Le titre II traite des travaux et des précautions à prendre dans leur exécution. Un fait bien caractéristique de la situation se révèle ici. On sait que, en général, dans une mine, on considère rarement les parties éboulées comme fécondes. Quand, par suite de soutènement insuffisant, quelques parties viennent d'ici, de là, à s'effondrer, on condamne le quartier, on en interdit l'accès comme dangereux et tout est dit. A Rancié, l'effondrement du gite est devenu si bien la loi générale que faire ainsi, ce serait interdire la mine. Aussi lit-on avec un certain étonnement :

ART. 5. — Les travaux d'exploitation se divisent en deux classes : 1° ceux qui ont lieu sur la couche métallifère, 2° et ceux qui exploitent des massifs ou blocs de minerai isolés dans les anciens chantiers (ou ateliers d'abatage) ou situés au milieu des débris provenant de l'éboulement de ces chantiers.

Le § 2 de la seconde section du titre II est intitulé : *Exploitation dans les Éboulis*.

Et il ne s'agit pas là de dispositions rarement appliquées et édictées pour embrasser tous les cas. Il y a autant et plus de chantiers aux éboulis qu'à la roche en place. D'ailleurs, le mineur de Rancié ne résiste pas à l'attrait de démolir un pilier qui lui présente du beau minerai facile

à prendre quelle qu'en soit la suite au point de vue de la solidité des ouvrages. Il faut le reconnaître d'ailleurs : l'habitude de dangers renaissants amène à les braver et à en méconnaître souvent l'imminence ; plus ou moins, tous les mineurs en sont là.

Le règlement de 1731 avait eu beau dire :

« ART. 10. — Les jurats auront toute sorte d'attention pour laisser des piliers pour soutenir le minier, auxquels ils feront des marques pour que les minerons les reconnaissent, et leur feront défense d'y toucher. »

Et le règlement de 1805 s'était en vain ingénié à préciser encore davantage et à punir sévèrement les infractions.

« ART. 18. — Les piliers seront conservés d'aplomb, et leur épaisseur ne pourra être moindre que le tiers de l'espace compris entre eux ; ils seront marqués ostensiblement sur chaque face découverte ; cette marque tiendra lieu de défense aux mineurs d'y arracher du minerai ; et tout mineur qui enfreindra cette défense, ou qui effacerait la marque du jurat, sera cité devant le tribunal de police correctionnelle : en cas de récidive dans l'année ou si le délinquant a entamé un pilier jusqu'au sixième de son épaisseur, il sera dénoncé à M. le Procureur général impérial comme ayant attenté à la sûreté publique ; et, dans les cas ci-dessus exprimés, le jurat de semaine qu aurait négligé de dresser son procès-verbal de délit sera dénoncé au préfet, qui, le cas échéant, le fera poursuivre comme en étant le fauteur et le complice. »

Tous les cas ne sont-ils pas bien prévus, et pouvait-on, après ces menaces terribles, redouter encore des imprudences? Voici la réponse.

D'Aubuisson, qui a été ingénieur en chef des mines, de 1811 à 1840, à Toulouse, et qui a, comme on le sait, laissé des œuvres durables et un nom estimé, écrivait en 1812, évidemment après sa première tournée de prise de pos-

session de service à Rancié, en parlant du niveau dit de l'Auriette, une des entrées, aujourd'hui abandonnée des travaux (*) : « Elle ne présente qu'une immense masse d'éboulis au milieu desquels la nécessité de vivre porte 400 mineurs à s'ouvrir de petits chantiers où ils recherchent, brisent et extraient les blocs de minerai qui y sont enfouis. Ils travaillent sous des voûtes formées de quartiers de roches et des fragments de la couche métallifère, sans liaison, s'appuyant simplement les uns contre les autres. Sans hyperbole, on peut dire que ces ouvriers ont sans cesse la mort en équilibre sur leurs têtes et qu'un rien peut rompre cet équilibre et les anéantir sous des milliers de quintaux de pierres. Ici, tous les secours de l'art ne peuvent rien. En bonne police, de tels chantiers devraient être fermés. Mais comment nourrir les mineurs qui y gagnent leur pain ; comment pourvoir de minerai les 50 forges qui se pourvoient à Rancié ? » J'ai reproduit cette tirade imagée parce qu'elle contient précisément les deux motifs qui ont, pendant de longues années encore, paralysé les efforts de l'Administration pour l'amélioration radicale du régime de Rancié, à savoir : l'obligation d'employer tout l'Office à la fois et l'alimentation de l'industrie du fer dans les Pyrénées. Je reviendrai plus bas sur ce sujet.

Peut-être pensera-t-on qu'en 1812, c'est-à-dire au lendemain de la loi fondamentale de 1810, alors que le règlement de 1833 n'était pas encore intervenu avec ses 97 articles, pareil état était à la rigueur possible, mais que plus tard il n'aura pu manquer de s'améliorer. Écoutons ce qu'en dit François lui-même touchant sa propre intervention (**) :

« Dans l'attaque des massifs vierges de l'Auriette, j'ai

(*) François, *loc. cit.*, p. 143.
(**) François, *loc. cit.*, p. 157.

inutilement indiqué et réclamé des mesures d'aménagement : au bout de quelques mois, il y avait des ruines là où pouvaient être de bons et beaux chantiers. Comme moi, mon prédécesseur, et, après moi, M. Durocher, malgré une volonté énergique, s'y sont inefficacement épuisés. »

Les abus se sont donc perpétués. Et quand on réfléchit que c'est l'ingénieur qui devait les faire cesser qui les atteste ; qu'il était, en somme, armé pour cela par les règlements, on se prend à conclure qu'il y avait à ces abus des causes permanentes et profondes qui se jouaient de ces derniers.

Disons de suite que, grâce à la surveillance incessante du Service des Mines, et spécialement du contrôleur des mines conducteur des travaux qui réside sur les lieux, grâce à ce qu'en raison de sa nature assez souvent la roche « prévient », grâce aussi à l'habileté, au coup d'œil que l'expérience fait acquérir aux ouvriers travaillant au milieu de ces dangers, on n'a jamais eu, depuis fort longtemps, à déplorer de grande catastrophe, et, par suite, que le problème de la sécurité ne s'est jamais posé impérativement par un de ces événements qui commandent à bref délai une solution. Cela ne fait pas que la question de sécurité soit à écarter quant aux procédés, comme je le montrerai plus loin.

Gaspillage. — Quant au gaspillage du gîte, il a été et est toujours resté lamentable. On ne doit pas perdre de vue que les éboulements d'une époque peuvent avoir été préparés et rendus inévitables par des travaux exécutés bien longtemps avant, en présence desquels l'ingénieur qui les subit est radicalement impuissant. Lorsqu'il a pris, dès lors, toutes les précautions voulues pour assurer en temps utile, le cas échéant, la retraite de son personnel, il a fait tout le possible. Sans entrer dans d'autres détails

on peut citer des événements tout récents où les choses se sont passées de cette façon (éboulements des 30 décembre 1881, 10 mai 1882, 5 décembre 1887, 27 et 28 février 1889).

Il peut devenir rationnel de provoquer des éboulements, car le fait d'un éboulement en masse d'une partie du gîte de Rancié n'a pas toujours été un événement malheureux. L'exploitation aux éboulis est, on se le rappelle, tenue pour normale. Or, il est arrivé que, lorque la pénurie de chantiers se faisait sentir, certains piliers anciens dont la proximité était par trop dangereuse auraient, en s'écroulant, comblé les vœux de tout le personnel, en amenant à portée de la galerie de fond des blocs puissants. Là, empâtés dans le stérile, faisant, au bout de quelques années, corps avec lui, ils seraient venus constituer à la portée du mineur des richesses nouvelles auparavant inaccessibles, et dans un état tel que l'ouvrier aurait su les aborder. Toutes les personnes qui ont visité les travaux dont je parle connaissent l'Entonnoir des Grottes. Quand on aborde latéralement ce vide immense, on est véritablement saisi. Sur une voûte naturelle faite de minerai encore en place qui la surmonte, reposent des masses énormes d'éboulis. On considérerait comme tout à fait heureux qu'elle vint à crever; en raison d'une sorte d'éperon de calcaire solide qui protège la galerie de roulage, on peut légitimement espérer que celle-ci ne serait pas compromise, et l'on aurait la possibilité d'enlever de ce vide, alors rempli, beaucoup de bon minerai. On a cherché même, en 1886, à provoquer cette chute en masse, et l'absence de simultanéité dans la déflagration des coups de mine à la dynamite qui avaient été préparés, paraît avoir été la cause de l'insuccès de l'opération. Ce qui est vicieux, ce n'est donc pas ce foudroyage appliqué sur une échelle immense, c'est le système séculaire qui l'a rendu possible et rationnel; c'est le gaspillage élevé à la hauteur d'une méthode.

Institution d'un conducteur chef des travaux. — Le règlement de 1833 institue, sous les ordres de l'ingénieur des mines, un conducteur des travaux payé sur le fonds spécial et chargé de toutes les mesures d'exécution ordonnées par l'ingénieur; il réside sur les lieux, lève les plans, commande les jurats, etc. On sentait le besoin d'en imposer aux mineurs par cette émanation supérieure de l'autorité. Mais elle était encore insuffisante, comme la suite l'a démontré. Il est intéressant, du reste, de remarquer que sa création n'était pas tout à fait une innovation. On peut voir, en effet (*), une délibération des consuls de la communauté de Vicdessos, en date du 16 octobre 1740, nommant pour inspecteur des mines un sieur Jean Delpy.

Les articles 31 à 60 réorganisent fortement — sur le papier au moins — l'institution des jurats. Ceux-ci sont au nombre de cinq, nommés pour cinq ans suivant une procédure compliquée. Ils sont assermentés. Leurs attributions de police et de surveillance technique sont détaillées avec une minutie excessive. Chaque soir, ils doivent se réunir. Amende de 5 francs, doublée en cas de récidive, en cas d'absence non reconnue légitime. Un secrétaire nommé par le préfet leur est adjoint. Ils feront le rapport des circonstances remarquables qui se seront présentées, des dangers observés, des contraventions relevées. Ils délibèrent sur ces divers objets, et le secrétaire consigne sur un registre à ce destiné le résultat de leur délibération.

Le titre III traite des mineurs.

Le nombre en est déterminé, d'après les besoins, par le préfet, et la liste en est arrêtée par lui. Les mineurs étaient autrefois propriétaires du minerai abattu; ils deviennent, pour ainsi dire, des fonctionnaires. Ils sont

(*) Raymond Barbé, *Recueil des Titres authentiques*, etc., p. 37.

même inamovibles et sans limite d'âge. Ils continueront », dit l'article 64, « à se payer eux-mêmes de leur travail par la vente des charges ou voltes de minerai qu'il leur sera prescrit d'extraire. » Il y a là, comme on le voit, une subtilité qui n'est jamais entrée dans l'esprit du mineur, lequel a toujours parlé de *son* minerai.

L'éternelle question de la qualité du minerai et de l'exactitude des poids est traitée titre IV, avec un luxe de précautions incroyable et, il faut bien l'avouer, avec peu de souci du côté pratique des formalités requises (voyez notamment les articles 72 et suivants). Le prix du minerai continue à être fixé par le Préfet, sur l'avis d'une Commission où sont représentés les maîtres de forge et les mineurs. Le poids légal est la *volte* (60 kilogrammes), et « les jurats doivent veiller à ce que les mineurs ne vendent pas le minerai *au-dessus* du prix fixé, et à ce que les acheteurs le paient à ce prix et en argent comptant (art. 79).

Tout ce qui a trait au fonds spécial fait l'objet des dernières dispositions du règlement que je viens d'analyser.

Résumé de la situation depuis 1293. — Faisons maintenant un retour en arrière et, embrassant d'un coup d'œil ce qui s'est passé à Rancié depuis l'acte de 1293, demandons-nous ce qu'a produit la libéralité qu'il a consacrée. On est frappé avant tout, ce me semble, de l'état de lutte aiguë et incessante qui, à toute époque se révèle entre la population minière d'une part, et les maîtres de forge tributaires de l'autre. Le pouvoir central cherche à ménager tantôt les uns, tantôt les autres. Il formule des dispositions destinées à réglementer les franchises qu'il a légèrement consenties. Au fond, il est toujours vaincu par les faits, et les mineurs font toujours la loi.

Au milieu de ces conflits séculaires pourrait-on au moins se dire que, par une sorte de compensation, les mineurs

ayant pendant des siècles dominé les forges, il a dû en résulter pour eux un état de plus en plus prospère; la richesse accumulée dans leurs mains y aura sans doute développé le bien-être, adouci les mœurs, et, toutes proportions gardées, la vallée de Vicdessos sera devenue une vallée de Tempé, au moins dans les villages miniers de Sem et de Goulier et Olbier. On serait loin de compte.

Je suis conduit à aborder ici un sujet auquel François a touché déjà, il y a plus d'un demi-siècle aux pages 156 et suivantes de l'ouvrage plusieurs fois cité; c'est de l'histoire; je le fais d'autant plus volontiers que les vues qu'il a exprimées ne me semblent pas toutes absolument justes, parce qu'elles ne sont pas, suivant moi, suffisamment larges.

Parlant de l'état matériel et moral des populations attachées aux travaux des mines, François écrivait: « Leur état moral est aussi bas que leur misère. » Il montrait les villages de la vallée éloignés des mines se livrant exclusivement aux travaux agricoles et déclarait qu'en comparant leur état d'aisance à celui des familles de mineurs et de muletiers on était frappé du dénûment général de ces derniers. Il va plus loin et, se demandant les causes d'un si pénible état de choses, il cite avant tout, et avec raison, la servitude des mineurs et des muletiers « vis-à-vis des entreposeurs ».

Examinons d'abord cette première cause.

Magasiniers. — On arrive à mentionner ici pour la première fois une catégorie de personnes plus connues dans ces derniers temps sous le nom de magasiniers, dont l'existence était, il faut bien le reconnaître, la conséquence fatale de l'organisation de Rancié, sans lesquelles l'exploitation de la mine n'aurait jamais pu se maintenir, et dont la prépondérance s'était accrue par la force des choses. Les abus auxquels entraîne peu à peu la puissance sans

contrepoids unie à la poursuite naturelle, légitime du gain, mais sans l'idée élevée des devoirs qu'il impose, avaient fini par faire des magasiniers la plaie de Rancié. A l'heure qu'il est, grâce à la toute récente réorganisation de l'affaire, ils n'existent plus qu'à l'état de mauvais souvenir. Il n'est que juste de montrer qu'ils étaient inévitables.

Les stipulations du règlement relatives à la vente du minerai n'ont jamais été appliquées et ne pouvaient pas l'être. — Les articles 78 et suivants du règlement de 1883, qui stipulent formellement la vente et le paiement argent comptant, par les muletiers, du minerai sur le carreau de la mine, n'ont jamais été qu'une lettre morte, et il ne pouvait en être autrement. Comment les maîtres de forge auraient-ils pu s'astreindre à une pareille sujétion pour prendre livraison? Il devait donc s'établir des dépôts de minerai servant d'intermédiaire et de magasins, où le maître de forge venait s'alimenter, quand et comme bon lui semblait. Établis à Cabre, hameau de Vicdessos situé au pied du chemin muletier rejoignant la grande route, ils livraient aux consommateurs les quantités demandées, et c'est à eux exclusivement que le mineur vendait son minerai. Que devenait dans cette double transaction le prix annuel soigneusement établi par la commission *ad hoc* (art. 76)? Si l'on réfléchit que, comme dans tous les pays reculés surtout, certains commerçants débitent de tout, notamment les objets de première nécessité (blé, farine, sel, morue, avoine, vêtements, etc.), on comprend que peu à peu l'imprévoyant mineur ne pouvait manquer de s'endetter, qu'un client endetté est un débouché naturel pour les denrées plus ou moins avariées; et l'on se rend compte de la masse de haine, longuement amassée dans l'esprit de la population, contre la caste des intermédiaires. « Les dettes du seul village de Goulier dépassent

de beaucoup », dit François, en 1843, « la valeur de tous les meubles et immeubles qui le composent. »

Il y a là, il faut bien le dire, un côté extrêmement douloureux du passé. Mais, qu'il me soit permis de le dire, lorsque François a cité aussi comme cause de la misère « le désordre, ... , l'esprit de chicane, l'intempérance » des mineurs, il en a dit trop, ou trop peu. Il fallait faire un pas de plus dans la recherche des responsabilités; il fallait se demander si la cause même de ces vices, à les supposer bien constatés, n'était pas la funeste concession de Roger-Bernard. Ce phénomène est vraiment particulier, de voir au milieu de populations de même race, soumises aux mêmes influences de climat et de milieu, quelques points moralement contaminés coïncidant avec une circonstance spéciale. La relation de cause à effet s'en déduit invinciblement, surtout quand l'expérience dure depuis au moins six siècles. Il a toujours été plus commode et plus lucratif, en somme, d'aller passer cinq à six heures dans la mine, au chaud l'hiver, au frais l'été, que de peiner aux intempéries et de se livrer, quand le moment est venu, aux travaux des champs, de l'aube à la nuit serrée. La terre marâtre de la montagne a été délaissée; elle ne donne un peu d'argent, quand elle en donne, que chaque année après la récolte; dans l'intervalle, il faut vivre de privations. Le mineur, lui, était payé comptant, et il en profitait. L'Office des Mineurs a été l'aristocratie de la vallée; comme toutes les aristocraties que ne soutient pas l'habitude de grands devoirs — et quels grands devoirs les mineurs auraient-ils eu à remplir? — elle n'a pas tardé à se corrompre, la facilité de satisfaire ses passions étant un puissant excitant pour s'y livrer. De là à devenir — pour continuer la comparaison — une aristocratie besogneuse, finalement la proie de ses banquiers, il n'y avait pas loin, et, toutes proportions gardées, c'était un phénomène économique connu sur de

bien plus grandes échelles. Il est, dès lors, rigoureusement vrai de dire que la charte de Roger-Bernard, dont le développement naturel a conduit à ce corps privilégié, fermé, de l'Office des Mineurs, a été la boîte de Pandore, pour les villages miniers.

François ne voit pas d'autres remèdes à ces maux que d'augmenter les attributions des ingénieurs; il veut, empruntant cette idée à Lapeyrouse (*), faire instituer quatre maîtres mineurs habiles ; il veut créer un magasin général de vente ; en un mot, il veut serrer davantage encore les mailles du réseau administratif avec lequel on a la prétention de régir Rancié. A ce moment, l'extraction atteignait 25.000 tonnes par an ; elle alimentait 72 forges catalanes sur les 110 environ qui régnaient de l'est à l'ouest des Pyrénées, et personne en France ne mettait en doute la pérennité du traitement direct. Aussi, l'on voit avec quelle ardeur le savant ingénieur poursuit, en même temps, les améliorations aux procédés métallurgiques qu'il a si bien étudiés, et dont il ne prévoit pas que les jours sont comptés!

Que tout cela est loin de nous, bien que datant de cinquante ans à peine!

Transformation profonde de la métallurgie du fer. — C'est à ce moment même que la métallurgie du fer commence à prendre, dans notre pays, un développement corrélatif de celui des chemins de fer; les forges de Decazeville viennent de se fonder, et le premier coup est porté à la méthode directe, d'abord dans les départements du Tarn, de la Haute-Garonne et de l'Aude ; quelques années après, les hauts-fourneaux de Ria (Pyrénées-Orientales) agissent de même sur les foyers catalans de la Têt; la sidérurgie moderne envahit enfin la vallée de

(*) *Traité sur les Mines et les Forges du comté de Foix.* Toulouse, 1786.

l'Ariège et, par les forges de Pamiers, les hauts-fourneaux de Berdoulet et de Tarascon, elle s'avance jusqu'au débouché même de la vallée de Vicdessos, menaçant, puis éteignant bientôt les chétifs instruments de la métallurgie du moyen âge ! En 1864, il reste quatre forges catalanes dans le pays.

Suppression du droit d'affouage. — En même temps, les gîtes de fer rentrent dans le droit commun en matière de mines, par la suppression (1866) du droit d'affouage. Désormais plus de servitude au profit des forges ! Les détenteurs du minerai livreront leurs produits à qui bon leur semblera et à des prix librement débattus ! Les mines sont affranchies ! Quelle va être maintenant la situation à Rancié ? Elle donne lieu à cette double ironie qui vaut la peine d'être notée. Jamais vérification plus topique ne montra mieux combien la loi naturelle de l'offre et de la demande se rit des réglementations, parce qu'elle a sa racine au plus profond de la nature humaine. Avant 1866, les maîtres de forges jouissent de l'affouage ; le prix est soigneusement fixé par l'article 76 du règlement de 1833, il est interdit aux mineurs de le vendre *au-dessus* du prix fixé ; en fait, la demande est abondante, et le maître de forges se plaint toujours des prix réellement pratiqués. Est-ce le mineur, est-ce le magasinier qui en bénéficient ? Les deux, sans doute, mais laissons ce point de côté. Après 1866, plus d'affouage ; mais, en même temps, par un phénomène concomitant, les foyers catalans s'éteignent, presque plus de concurrence à l'achat — les magasiniers sont peu nombreux et savent s'entendre — et l'article 76 continue à être un trompe-l'œil, mais en sens inverse. Le mineur subit alors un prix effectif, dans lequel les fournitures de farine ou de morue jouent un rôle réducteur qui n'a rien d'administratif. Il y a mieux : dans les dernières années, on ne se donne même

plus la peine de réunir la Commission annuelle des prix. Les mineurs vendent le minerai ce qu'ils peuvent.

Si la misère dominait déjà, quand les prix payés étaient en fait supérieurs au prix officiel, qu'a-t-elle dû devenir alors que le contraire s'est établi ?

Conséquences du règlement au point de vue de l'organisation des chantiers. — Mais il faut faire ressortir encore un point important, résultat direct de l'organisation de 1833. J'ai dit que le mineur, sous son empire, est un fonctionnaire nommé *à vie*. Sa fonction est d'exploiter la mine de Rancié. Ils sont là 370 à 400, tous égaux, tous jouissant au même titre du *droit au travail*, qu'on ne s'attendait sans doute pas à voir remonter si haut dans l'histoire. Sur la proposition de l'ingénieur, le préfet peut bien décider qu'on chômera tel ou tel jour ; mais, le jour où les chantiers seront ouverts, tous les mineurs auront le droit d'y être placés. Or, comme l'Office pourrait abattre et extraire par journée moyenne trois ou quatre fois autant que la quantité nécessaire aux seuls consommateurs possibles — et dans ces dernières années, il n'y en avait réellement qu'un seul — on réduira l'effet utile de chaque membre de l'Office ; on ne travaillera que 15 jours, que 12 jours, que 10 jours par mois. Il pourra même arriver ceci : — et que de fois le cas ne s'est-il pas présenté pour mettre à la torture l'esprit des ingénieurs ! — à la suite, soit des éboulements dont j'ai parlé plus haut, soit de l'envahissement momentané d'une partie des travaux par la fonte des neiges, un certain nombre de chantiers sont devenus inaccessibles. Ce qu'il en reste serait, d'ailleurs, très suffisant pour le minerai à fournir, si la moitié ou le tiers de l'Office s'y employait convenablement. Mais avec une solution si simple, le reste de l'Office chômerait ; inutile d'y penser. En sorte que la direction des travaux se trouvait en présence d'une sorte de casse-tête chinois

pouvant se définir ainsi : étant donné un petit nombre d'emplacements, y placer un très grand nombre de mineurs pour y travailler tous également, mais le moins possible.

Hostilité de la population contre toute amélioration technique. — Il apparaît clairement, d'après cela, que toute amélioration dans les méthodes, tendant à réduire la main-d'œuvre, à faciliter le roulage et le transport, devait être repoussée avec passion, et *a priori*, par la population. Et voilà pourquoi Rancié a eu le droit, jusqu'en ces dernières années, de se dire le conservatoire du portage à dos et de la routine, en général. Voilà pourquoi l'on peut encore voir à l'heure qu'il est — il faudra cependant se hâter, car, bien que ces choses-là ne disparaissent pas en un jour, nous avons les raisons les plus solides pour les croire aujourd'hui condamnées à bref délai — voilà pourquoi, disons-nous, l'on peut encore voir passer le porteur à dos (gourbatier), sa lampe aux dents, 90 à 100 kilogrammes sur le dos dans une panière reposant en haut sur ses omoplates, en bas sur une sorte de coussin (gorp) maintenu sur les reins par deux bretelles passant sous les aisselles, monter des rampes de 25 mètres de hauteur verticale pour franchir les marches glissantes qui l'amènent à la voie de Sainte-Barbe, puis, de là, plié sous ce faix, parcourir dans la même galerie tortueuse, bossue et pleine de flaques d'eau, 600 mètres horizontalement pour arriver au jour.

Conséquence au point de vue de la sécurité. — Et la sécurité, que devient-elle avec de pareils procédés ?

On a bien le sentiment qu'elle est gravement compromise ; d'Aubuisson et François nous ont déjà fait connaître ce qu'ils en pensaient, mais comme, en définitive, il n'y a pas eu dans les derniers temps de catastrophe en masse, mais presque uniquement des éboulements,

surprenant un ou deux mineurs, on pourrait se demander si l'habitude et l'habileté professionnelle des ouvriers ne viennent pas, dans une certaine mesure, corriger ce que le système a de dangereux (*). En serrant la question de près, on voit qu'on serait loin de compte. Pour se servir des chiffres, il y a ici une difficulté particulière. Il faut, étant donné que l'ouvrier de Rancié produit très peu, systématiquement, se garder de faire entrer le nombre total du personnel. On aura, au contraire, une base rationnelle, si l'on estime le nombre d'accidents produits par rapport au tonnage extrait. Or, d'un relevé détaillé que j'ai sous les yeux, il résulte que, depuis le 1er mai 1876, jusqu'au 20 mai 1894, soit pendant 18 années, il a été abattu à Rancié 367.198 tonnes de minerai de fer, et que 40 accidents faisant 41 victimes, dont 7 tués et 34 blessés ont été constatés. Cela donne 1 accident pour 8.679 tonnes, ou 1 tué par 49.600 tonnes, ou encore 1 blessé par 10.000 tonnes. Or, pendant l'année 1892, les mines de fer souterraines de toute la France ont fourni les chiffres suivants: extraction totale 2.951.132 tonnes, 47 accidents dont 10 tués et 37 blessés, soit 1 accident par 63.000 tonnes, 1 tué par 295.000 tonnes, et un blessé par 80.000 tonnes. Il suit de ces données statistiques que les travaux de Rancié sont de six à huit fois plus meurtriers que le reste des mines de fer souterraines de la France.

Nécessité d'une rénovation. — Tout le monde sentait bien le besoin de mettre un terme à une situation pareille,

(*) L'éboulement en masse ayant enseveli tout le personnel de la mine de fer de Nagot, dont parle M. Haton de la Goupillière (t. II, p. 594, de son *Cours d'exploitation des Mines*), comme ayant eu lieu au XIVe siècle, et qu'il mentionne avec l'indication : Rancié, a trait à une mine de fer existant en réalité sur l'autre versant de la vallée de Sem, en face de Rancié. Quelques galeries en sont encore accessibles.

et tout particulièrement les ingénieurs du Corps des Mines qui avaient succédé à François. Parmi eux, M. Mussy, dont les travaux sur l'Ariège et, en particulier, sur Rancié, ont fait époque, s'y attacha avec une énergie et une ténacité qui n'ont eu d'égales que les résistances qu'elles ont suscitées.

M. Mussy était arrivé à Vicdessos à peu près à l'époque où les traités de commerce (1860) venaient de lancer l'industrie française dans une voie hardie qu'elle a, en somme, parcourue avec succès. Les maîtres de forge de la région pyrénéenne avaient de suite sollicité la bienveillance du pouvoir central, pour qu'il usât de toute son influence afin d'arriver à réduire les prix des matières premières. M. Mussy fut invité officiellement à étudier ce qui pourrait être fait dans ce sens pour Rancié. Il faut entrer ici dans les détails.

Tous les vieux niveaux par lesquels le gîte avait été successivement attaqué, depuis le sommet de la montagne, étaient abandonnés, et les chantiers en activité étaient concentrés soit au-dessus, soit au-dessous de la galerie dite de Sainte-Barbe, située à 200 mètres environ au-dessus du village de Sem, et non munie de voie ferrée, bien entendu, car c'eût été un moyen de réduire le personnel en facilitant le transport.

Au débouché de cette galerie ouverte vers 1848, sur de vieux travaux d'affleurement, était la place de vente du minerai, avec ces petites baraques personnelles à chaque mineur prévues par les articles 81 et suivants du règlement de 1843 et qui semblaient les alvéoles étranges d'un nid de termites. Une seconde galerie dite de Becquey atteignait le gîte après 360 mètres de percée à travers bancs; c'était la galerie d'écoulement; elle débouchait à 34 mètres du village. L'extraction se faisait uniquement par Sainte-Barbe, et les chantiers les plus bas se trouvaient à environ 40 mètres en contre-bas de la

galerie de ce nom. Sorti au jour et livré aux muletiers par charges de 75 à 90 kilogrammes, le minerai descendait ainsi aux magasiniers du hameau de Cabre, soit à 480 mètres en verticale plus bas que la place au minerai.

Programme de M. Mussy. — Le programme de M. Mussy était le suivant :

Par la rectification de la galerie de Becquey, et en la dotant d'une voie ferrée, la transformer en galerie de sortage, y descendre à cet effet les minerais exploités, tous situés au-dessus d'elle, par un ou deux plans automoteurs. Par là disparaissait le travail de bête de somme imposé aux mineurs pour remonter le minerai à Sainte-Barbe. Rendu au jour sur wagonnets, le minerai serait descendu à la route départementale par une série de paliers et de plans inclinés qui ramèneraient les wagonnets vides à l'entrée de Becquey, par la disposition déjà bien connue que la Grand'Combe avait inaugurée sous le nom de plans bisautomoteurs. Un magasin général le recevait à Vicdessos ; c'est là qu'arrivaient les vagonnets du fond de Becquey sans rompre charge, là que se trouvait transporté le carreau de la mine et qu'était vendu, par un préposé de l'Administration de Rancié, le minerai au véritable prix déterminé par la Commission *ad hoc*. Les petits trafics entre mineurs et magasiniers disparaissaient en même temps, soit que ces derniers, devenus inutiles, disparussent eux-mêmes, soit que chaque mineur, n'ayant plus à livrer au magasinier, mais au préposé de l'Administration, fût ainsi soustrait à l'action de son puissant intermédiaire.

Ces projets, pour le dire en passant, n'étaient pas, en principe, nouveaux. Dès 1818, les ingénieurs s'étaient préoccupés d'amener sur la route le minerai d'une façon plus économique, et l'on peut voir dans le livre de François (p. 161 et suivantes) les diverses idées mises en

avant, comme aussi les objections élevées pour faire échouer les projets élaborés ; il est même intéressant de constater qu'elles se sont reproduites exactement les mêmes contre les projets Mussy.

Opposition violente. — Dès qu'ils furent connus, ceux-ci furent l'objet d'une si violente opposition que l'Administration supérieure crut prudent — c'était, d'ailleurs, dans la nature des choses — de diviser le programme en deux parties. Tout ce qui était travail de mine proprement dit pour l'amélioration des transports intérieurs fut autorisé et entrepris de suite par les ingénieurs. Tout ce qui était travail extérieur fut considéré comme devant être soumis à une enquête locale.

Exécution partielle du programme des travaux intérieurs. — La première partie se partageait elle-même en deux : la transformation de la galerie Becquey en voie de roulage, et l'organisation des couloirs ou plans inclinés intérieurs devant amener tous les minerais à ce plus bas niveau. Disons de suite, pour n'y plus revenir, que, en 1865, la galerie Becquey avait enfin été l'objet de l'amélioration projetée, et que l'on avait pu transporter ainsi dans les régions avoisinantes les trois quarts de l'Office des Mineurs. C'était un grand bienfait qui s'était traduit par une diminution de 0f,20 par volte (*), soit 3f,30 par tonne, dans le prix de revient, partageable naturellement comme avantage entre les mineurs et les maîtres de forges. Ajoutons que c'est, de toute la conception de M. Mussy, la seule chose qui soit demeurée. Vers 1869, les plans intérieurs qui devaient achever la suppression du remontage à dos et du muletage entre Sainte-Barbe et Becquey avaient bien fini, eux aussi, par

(*) Mussy, *Annales des Mines*, 6e série, t. XIV, p. 269.

être réalisés ; mais je dirai plus loin comment l'on arriva à les supprimer. Leur usage prolongé et régularisé devait, d'après M. Mussy, amener une réduction de 0f,05 par volte, soit 0f,88 par tonne (*).

Partie extérieure du programme. — Quant à la seconde partie du programme de la rénovation, elle était autrement difficile à aborder.

Les rapports à l'appui établissaient que le coût total irait aux environs de 166.000 francs, que le travail ne durerait pas plus de deux années, qu'il procurerait une économie de 5 francs par tonne, soit de 90.000 francs par an avec 18.000 tonnes seulement d'extraction, ce qui était bien modéré assurément puisque, *sans l'exécution du programme*, on a vu, quelques années après, le tonnage livré monter bien au-delà et atteindre le double de ce chiffre.

Quant aux voies et moyens, les ingénieurs penchaient pour l'exécution par l'Administration de la mine, c'est-à-dire par eux-mêmes, au moyen d'une avance de l'État facile à rembourser par annuités en raison de l'économie annuelle. A défaut, ils indiquaient la concession à un entrepreneur des transports sous réserve de conditions à débattre.

Saisi de la question, le Conseil général des Mines appuya chaleureusement le projet étudié. Malheureusement l'État déclarait n'avoir à ce moment aucun reliquat disponible sur les fonds affectés aux prêts à l'industrie. Le Conseil général des Mines indiqua la possibilité de s'adresser au Crédit Foncier pour solliciter le prêt nécessaire.

Le projet fut alors mis à l'enquête par application de la loi de 1841.

(*) Mussy, *Annales des Mines*, 6e série, t. XIV, p. 270.

Première enquête et échec au Conseil d'État. — Je reviendrai sur cette enquête un peu plus bas, à propos d'une deuxième qui a eu lieu sur le même sujet. Disons seulement ici que le projet, énergiquement soutenu par les autorités locales et la Commission d'enquête, vint échouer devant le Conseil d'État (avis du 2 février 1864) sur la question des voies et moyens insuffisamment assurés. On verra, dans la suite de cette étude, que ce point de vue légal a toujours été la pierre d'achoppement dans les tentatives de rénovation de Rancié qui n'ont point abouti.

Proposition des tiers intéressés. — Les intérêts de la métallurgie locale paraissaient tellement liés à l'exécution du projet étudié que, en février et mars 1865, deux propriétaires de hauts-fourneaux de la région offrirent de se charger, à leurs risques et périls, de l'exécution du projet moyennant des conditions, non seulement acceptables, mais que l'on amena par des négociations à être réellement fort avantageuses. Retenons-en les points principaux. Le tarif de descente était fixé à 1f,75 par tonne au cas où le soin de l'opérer eût été laissé aux concessionnaires des voies ferrées; il tombait à 1f,50 seulement si l'Administration de Rancié voulait s'en charger. Il était, d'ailleurs, loisible à celle-ci, et à tout instant, en prévenant à l'avance, de reprendre la traction pour son compte. La durée de la concession, demandée pour 35 ans, avait été ramenée à 25 ans.

Deuxième enquête. — Nouvelle enquête ouverte sur les lieux. Comme celle de 1862, et de la part des mêmes personnes, elle suscita les protestations le plus passionnées. J'ai sous les yeux les dossiers des deux enquêtes. On ne peut se défendre, en les parcourant, d'un sentiment de tristesse indignée, quand, au fond de tout cela, on aper-

çoit trop souvent les motifs inavouables du *tolle :* maintien de la main-mise des intermédiaires. Une chose est faite aussi pour étonner. Une foule de personnes, parce qu'elles sont nées dans le pays qu'elles ont quitté depuis d'ailleurs, des avocats, des négociants, des ecclésiastiques, se déclarent « concessionnaires de Rancié » et protestent contre le monopole que les ingénieurs, « les étrangers », veulent organiser à l'encontre de la « liberté de l'achat et de la vente » dont ont joui jusqu'alors les populations ». Un grand nombre de mineurs, les pauvres égarés, font chorus. Les mineurs demandent le maintien de la « liberté de la vente » ! Puissance formidable des mots !

Quelque fastidieuse que soit la lecture de ces factums, il y a cependant une certaine utilité à les parcourir. On y découvre : 1° le seul argument qui présentât quelque semblant de sérieux dans les motifs d'opposition ; 2° le dérivatif bruyant qu'avaient imaginé les adversaires pour lancer l'opinion sur une piste sans issue, et qui, suivant eux, devait être la panacée à tous les maux.

L'argument était : que vont devenir les muletiers quand il n'y aura plus de minerai à descendre? C'était celui des maîtres de poste au début des chemins de fer. On répondait facilement que ceux des muletiers — en très petit nombre — qui n'étaient pas en même temps mineurs pourraient reprendre les travaux agricoles, que l'extension certaine de l'extraction comporterait soit comme charrois accessoires, transport de denrées, utilisations diverses, l'emploi des bêtes de somme ; qu'en présence de l'afflux d'activité en perspective on ne pouvait vraiment pas s'arrêter à une pareille considération, etc.

Le dérivatif, c'était la nomination d'une Commission syndicale pour gérer la propriété indivise des communes constituées par la concession de Rancié. Quelques mots sont nécessaires relativement à cet incident qui se poursuivit indépendamment des projets de descente économique.

Création d'une Commission syndicale. — Émise en conformité de l'article 70 de la loi municipale du 18 juillet 1837 concernant les biens ou droits indivis possédés par plusieurs communes, cette idée germait dans les esprits depuis quelques années ; formulée nettement par l'une des communes intéressées, Goulier et Olbier, écartée par le préfet de l'Ariège, d'abord, par le Ministre de l'Intérieur, ensuite, par la raison que l'ordonnance de 1833 avait réglé dans tous ses détails le mode de jouissance par les communes du bien en question, elle avait fini par obtenir, devant le Conseil d'État, un semblant de triomphe : un décret au contentieux, en date du 13 juin 1867, avait annulé la décision ministérielle du 19 février 1866 rejetant la demande du Conseil municipal précité.

Une Commission syndicale avait donc été reconnue légale, mais — point capital — pour agir dans les limites où lui permettaient de se mouvoir l'ordonnance de 1833 et le règlement général qui en faisait partie intégrante. Son rôle se bornait donc nécessairement à une surveillance générale des intérêts communaux dans la direction active de l'affaire, qui restait confiée au préfet, et, sous ses ordres pour la partie technique, aux ingénieurs de l'État. La Commission fut nommée, et..... ne fit absolument rien, démontrant ainsi, à l'encontre de ceux qui l'avait demandée, son inutilité. Nous la verrons reparaître de nos jours, exhumée de l'oubli où elle était plongée depuis 25 ans.

Décret du 3 août 1868 déclaratif d'intérêt public pour les plans inclinés extérieurs. — Reprenons maintenant, en l'abrégeant, l'historique de l'affaire des plans extérieurs après la seconde enquête. Malgré les avis favorables des différents corps constitués appelés comme la première fois à se prononcer, les demandeurs avaient,

sous le coup de mille tracasseries, fini par se retirer; l'affaire restait en suspens, quand vint à se présenter pour la reprendre un nouveau demandeur. Il était du pays, avait fait quelques entreprises de travaux publics à l'étranger; au total, offrait peu de surface, et il est permis de supposer que ce fut sans grand enthousiasme que l'Administration supérieure accueillit ses propositions. Il fallait aboutir et, finalement, un décret impérial en date du 3 août 1868 avait enfin déclaré d'utilité public le système des plans inclinés extérieurs étudié depuis 8 ans, et approuvé les propositions présentées par le demandeur aux clauses et conditions du cahier des charges y annexé. Outre les conditions de style habituelles, on relève celles-ci : largeur de la voie, $0^m,77$; accotement, $0^m.50$; la ligne comprenait un petit souterrain au col de Sem, de 2 mètres de largeur sur $2^m,15$ de hauteur sous clef. La durée de la concession était de 20 ans; à l'expiration de ce délai, les plans inclinés avec leurs dépendances devenaient la propriété de l'État, subrogé à tous les droits du concessionnaire. La taxe à percevoir pour la descente était de 2 francs par tonne. A toute époque, l'Administration se réservait le droit de rentrer en possession de l'ensemble en prévenant 6 mois à l'avance. Les travaux devaient être commencés 6 mois au plus tard, et achevés 18 mois au plus tard, à partir de la date du décret, faute de quoi le concessionnaire des voies ferrées encourait la déchéance de plein droit, et le cautionnement de 7.000 francs à verser par lui devenait la propriété de l'État.

Conditions fort belles, on le voit, trop belles ! Le concessionnaire comptait sur des associés qui se dérobèrent. Les délais expirèrent et rien ne se fit.

Ce qui reste des projets de M. Mussy. — Au commencement de 1869, de cet effort de huit années, il ne restait rien que la galerie Becquey transformée en voie de roulage, par l'énergie de M. Mussy. On ne doit pas même compter les plans inclinés intérieurs, bien qu'ils aient fonctionné quelque temps; ils n'existent plus depuis longtemps. En effet, peu après le départ de M. Mussy, qui, vers le commencement de 1870, fut appelé à une autre situation, et peut-être sous l'influence d'idées contraires à ses vues, l'usage des plans inclinés intérieurs fut « provisoirement » suspendu. On leur reprochait d'être d'un entretien coûteux. Peut-être pourrait-on soupçonner que le plus grand soin ne présidait pas à leur emploi, et qu'on faisait preuve de peu de persévérance en les condamnant si vite. On sait ce que le provisoire dure parfois ! Si l'on remarque que nos désastres de l'Année Terrible survinrent peu après et qu'ils n'étaient pas faits, on le pense bien, pour renforcer, à Rancié plus qu'ailleurs, le principe d'autorité, on comprend que, grâce à toutes ces circonstances, la lourde pierre du *statu quo* retomba sur les malheureux mineurs. Et voilà pourquoi le portage à dos dure encore à Rancié en 1895 !

Situation relativement prospère pendant une dizaine d'années. — Grâce à la fougue de travail qui, de suite après la guerre, s'empara du pays tout entier, et grâce aussi aux sages aménagements que, dans la décade précédente, M. Mussy avait pu réaliser, Rancié vit à ce moment les demandes s'accroître et le travail augmenter. Il connut là, dans les 10 années qui suivirent, l'époque de sa plus grande activité; la moyenne de l'extraction annuelle, de 1872 à 1881, est de 31.453 tonnes. Qu'on se figure le manque à gagner que cela représente, par l'absence de plans extérieurs ! Il est bien facile, du reste, de s'en faire une idée. Pour rester dans une modération qui défie toute critique, j'admets, contre toute vraisemblance, que l'extraction ne se fût augmentée que de 20 à 25 p. 100; j'écarte les 5 francs d'économie par tonne que la descente eût dû

réaliser d'après les rapports versés aux enquêtes, et à cause : 1° de l'abaissement continu des frais de muletage de 1860 à 1870 ; 2° des améliorations de détail introduites dans les transports et qui, notamment, avaient diminué les quantités descendues du niveau Sainte-Barbe, je considère le prix de la descente muletière en 1868 ; il est de 5 francs (*). Le prix de la descente stipulé au cahier des charges, accepté par les premiers demandeurs, était de 1f,75. Plus tard, il avait été porté à 2 francs, comme correctif de la réduction de la durée de la concession à 20 ans. L'économie de 3 francs par tonne est donc un minimum certain ; appliquée à une extraction moyenne annuelle de 40.000 à 45.000 tonnes, en 10 années elle eût atteint 12 à 1.300.000 francs ; si l'on se souvient des prix des minerais de fer à cette époque, de combien ne faudrait-il pas encore majorer ces aperçus ! C'est à plusieurs millions qu'il faudrait chiffrer la somme qui, de 1870 à 1880, eût été versée dans le pays, si les projets de M. Mussy eussent été réalisés en temps utile.

La situation redevenue très mauvaise vers 1882. — Quand, après 1880, la période d'activité décroissante commença à se faire sentir, le nombre des chantiers disponibles avait diminué, et plus rapidement, semble-t-il, que les besoins. Au milieu de juin 1882, la situation à ce point de vue était même devenue tout à fait déplorable. Le grand gîte au niveau de Becquey avait été rendu inaccessible par les éboulements en masse des 30 décembre 1881 et 10 mai 1882. Sainte-Barbe était arrêtée par la propagation des mêmes éboulements en hauteur ; le personnel, concentré tout entier dans les gîtes les plus voisins du jour, à Becquey, y travaillait à deux postes, c'est-à-dire dans des conditions de surveillance plus mauvaises que jamais.

(*) Mussy, *Annales des Mines*, 6e série, t. XIV, page 270.

Ouverture de la galerie de la République. — C'est à cette époque que, sur la proposition des ingénieurs, fut décidé le percement d'une grande galerie de rabais à 80 mètres au-dessous du niveau Becquey, devant mettre à la disposition de l'Office une quantité importante de minerai. Le 28 juin 1883, le premier coup de pioche était donné à cette galerie, dite de la République.

C'est alors aussi (1883) que, comme un malade qui se retourne sur son lit, sans y découvrir une place bonne, la population minière, par une pétition signée de plus des 4/5 des mineurs composant l'Office, demande la refonte du règlement archaïque de 1833.

Projets de modifications du règlement général. — Les ingénieurs, invités par l'Administration supérieure à fournir des propositions dans ce sens, avaient conçu d'abord la rénovation avec une certaine envergure ; mais, au cours de l'instruction, et afin d'éviter au Conseil d'État les objections légales, de réduction en réduction on avait abouti à demander la simple suppression de trois articles de police du règlement en question, articles sans portée sérieuse, et que pour cette raison je ne reproduis pas. Quelle que fût la suite, la réforme était avortée d'avance.

Échec au Conseil d'État. — Même réduite à ces modestes proportions, la proposition échoua en effet devant le Conseil d'État. On se heurta à l'objection de principe suivante : les concessionnaires sont les 8 communes de la vallée, il importe peu que les 4/5 des mineurs, que la totalité même réclame l'abolition de tel ou tel article ; c'est l'adhésion de l'unanimité des communes aux modifications projetées qui est la base nécessaire des changements que l'Administration est appelée à sanctionner. Rien de possible sans cette adhésion. Or les communes, consultées par la voie de leurs municipalités, avaient émis des avis défavorables à

tous changements. Et cela se comprend bien : que leur importait, en effet, au moins à six d'entre elles ? Concessionnaires pour la forme, sans relations avec les mineurs et les mines, pourquoi ces communes auraient-elles engagé leurs responsabilités en appuyant des changements dont l'influence ne pouvait les toucher ? On voit ici combien étaient justes les vues du Conseil général des Mines, lorsque, dans la préparation de l'ordonnance de 1833, il s'élevait contre cette solution artificielle de donner la concession aux communes.

Je n'aurais pas parlé de cette tentative mal venue, si je n'avais à mentionner, à son propos, un détail piquant qui peint bien les rapports des mineurs avec les maîtres de forges, soit quand ils leur faisaient la loi, alors que ceux-ci étaient nombreux, soit quand, n'ayant plus en face d'eux qu'un seul établissement et quelques magasiniers dont ils dépendaient, ils étaient obligés d'en passer, pour les prix, par toutes les conditions qu'imposaient ces derniers. L'article 79 ordonne que les jurats veilleront à ce que les mineurs ne vendent pas le minerai *au-dessus* du prix fixé par la Commission. La modification proposée à cet article consiste simplement à remplacer *au-dessus* par *au-dessous*. Un seul mot changé, que dis-je ? une seule lettre ajoutée accuse le renversement de la situation.

Nouvelle tentative de rénovation. — Sept années se passèrent encore. Les personnes qui, à des titres divers, s'occupaient de Rancié avaient pour la plupart changé, soit dans le service local, soit dans le service central, et comme ces problèmes irritants auxquels on revient sans cesse, la question de Rancié se dressait toujours, véritable sphinx administratif. Une nouvelle campagne fut décidée.

Il importait avant tout de se prémunir contre ce qui avait jusqu'alors fait échouer les précédentes : le défaut d'entente entre les intéressés nominaux et effectifs. On se

rappelle la Commission syndicale nommée en 1867. Il sembla qu'elle pourrait être le rouage souhaité pour amener l'accord entre les communes et la population. On en ferait renommer les membres, elle donnerait son avis sur une refonte générale du règlement, et l'on pouvait espérer avoir assez d'action persuasive sur elle pour qu'elle n'entravât point l'action de l'Administration centrale. Ainsi fut fait.

Quant à la refonte en elle-même, on pensa qu'il était indispensable de faire connaître l'esprit dans lequel elle devait être abordée.

Esprit dans lequel le règlement général de 1833 *devait être modifié.* — On a vu plus haut que, dès 1843, François n'avait trouvé de remède à la situation qu'en augmentant la main-mise de l'Administration sur la direction de l'affaire Que telles fussent les idées en cours à cette époque reculée, avant l'abolition de l'affouage, cela n'est pas pour étonner ; mais l'on savait qu'à l'époque actuelle elles avaient encore des représentants sur les lieux ; certaines personnes ne reculaient pas devant la pensée de voir les ingénieurs de l'État exploiter commercialement Rancié et, par suite, devenir les concurrents, sur les marchés, des autres mines de fer surveillées par eux dans les limites exclusivement techniques que comportent leurs attributions ordinaires. C'est pourquoi, par deux lettres adressées au préfet du département, les 19 mai 1890 et 29 janvier 1891, les vrais principes furent nettement posés par l'Administration centrale. Loin d'entrer plus avant dans les affaires de Rancié, le Gouvernement devait s'en dégager le plus qu'il lui serait possible. Ici, comme partout, le salut devait être dans la liberté créatrice des initiatives et des responsabilités, cette liberté pouvant et devant être sagement réglée pour tenir compte des anciens privilèges dans une convenable mesure et éviter un saut brusque dans l'inconnu. La gestion de l'affaire serait donc remise à une Commission

locale ; l'Administration préfectorale et le Service des Mines n'exerceraient plus que leurs attributions de droit commun, celle-là pour la tutelle de la gestion des biens communaux, celui-ci pour la surveillance normale de toute mine concédée. On aurait à examiner, dans cette œuvre nécessairement transactionnelle, si, et dans quelle mesure, il y aurait lieu de conserver les usages locaux en ce qui concerne l'embauchage des ouvriers, leur rémunération, la vente des minerais, etc.

On se mit rapidement d'accord avec la Commission syndicale pour arrêter les principales dispositions à substituer à l'œuvre surannée de 1833 : administration de la mine par une Commission syndicale émanée des huit communes et fonctionnant conformément aux lois municipales ; conservation du recrutement obligatoire des mineurs dans les huit communes ; salaires payés en argent, etc. Mais un seul point constitua une divergence de vues irréductible : la Commission syndicale consultative s'obstina à demander que les ingénieurs de l'État restassent indéfiniment chargés de la direction générale de l'affaire ! Les « étrangers » des enquêtes de 1862 et 1865 étaient devenus indispensables ! C'était absolument méconnaître l'esprit et le texte même des instructions ministérielles et courir au-devant d'un échec certain. Cela devenait désespérant ! Vainement, à titre transitoire, l'Administration centrale se montrait-elle des plus accommodantes. Que voulait-on, en somme, surtout ? Inscrire dans la disposition nouvelle le principe de l'indépendance de l'affaire vis-à-vis du pouvoir central et de ses agents. On pouvait prendre des délais. Rien n'y fit. La Commission syndicale se montra inébranlable. On allait donc arriver devant le Conseil d'État sans cette entente absolue jugée rigoureusement nécessaire par cette haute Assemblée, en 1883, pour consacrer par la voie d'un décret tout règlement nouveau.

Ici se place, dans l'historique de l'affaire, un incident

mettant en jeu l'interprétation de l'article 55 de la loi de 1810 et qu'il y a peut-être quelque intérêt à ne point passer sous silence, par cette raison qu'il a consacré un point de doctrine qui ne s'était pas encore posé.

Sous l'impression qu'il fallait en finir, même en brusquant un peu les choses, on se demanda si, examiné de très près, interprété rigoureusement, l'article 55 précité ne permettrait pas de passer outre aux exigences déraisonnables de la Commission syndicale. C'est, on se le rappelle, en vertu de cet article que le Gouvernement, en présence d'usages locaux anciens et de droits acquis antérieurs à l'institution d'une concession, peut régler dans l'acte institutif la forme sous laquelle ces usages et ces droits seront désormais consacrés. Tout le monde, à vrai dire, parmi les personnes chargées de parachever cette toile de Pénélope, ne partageait point cette manière de voir. Il s'établit même, à cet égard, des échanges de vue empreints d'une certaine subtilité. « Sans doute », disaient les uns, « c'est en vertu de l'article 55 qu'ont été inscrites dans l'acte de 1833 toutes les dérogations au droit commun qu'il contient, pour consacrer les anciens droits ; mais le concours des ingénieurs de l'État représente-t-il un ancien droit ? Nullement. Rien d'analogue ne s'aperçoit dans l'organisation antérieure. On ne voit pas, par exemple, l'intendant de la couronne administrer Rancié, ni un fonctionnaire quelconque, assimilable aux ingénieurs du Corps des Mines, le surveiller au point de vue technique. C'est ou une largesse gratuite faite par l'Administration, ou, plus exactement — divers documents en font foi — une garantie que l'État, gardien des intérêts généraux, a voulu se réserver contre le gaspillage affreux dont l'exemple frappait tous les yeux. Et cette largesse, il ne pourrait, à chaque instant, s'en départir ! Cette garantie, il lui serait impossible de l'abandonner ! » Le second groupe répondait : « Quant au fait que rien, dans l'ancien régime, ne

correspond au concours des ingénieurs d'aujourd'hui, il est, au moins dans une certaine mesure, contestable. Au XVIII[e] siècle, des inspecteurs des mines, désignés par les consuls, recevaient l'investiture de l'intendant du Roussillon (*); mais, pour plus de simplicité, admettons-le. Cela ne fait pas qu'on puisse tirer de cette absence de précédent la conséquence demandée. La largesse faite ou la garantie prise par l'État fait partie d'un bloc qui a pour objet d'équivaloir, une fois pour toutes, à toutes les immunités anciennes; on ne saurait faire un départ entre les dispositions immuables et celles qui seraient précaires, sous peine de méconnaître absolument l'esprit de la loi de 1810. »

Rejet par le Conseil d'État du projet de décret présenté par le Ministère. — Le Conseil d'État, devant qui la question fut portée, donna raison à cette dernière argumentation. L'article 55 était épuisé. Une autre objection capitale devait, à elle seule, faire rejeter le projet de décret préparé. La loi municipale du 5 avril 1884 dispose qu'une Commission syndicale, constituée conformément aux articles 162 et suivants, ne peut faire que des actes d'administration, et non disposer des biens. Or, il est déclaré par de nombreux arrêts que, les produits des mines ne se renouvelant pas, leur vente est une aliénation; elle aurait donc exigé le consentement unanime des huit Conseils municipaux intéressés.

Encore une fois la rénovation de Rancié était à terre. Cette fois, la boîte de Pandore était vide.

Une loi est jugée nécessaire. — Heureusement, selon le mythe ancien, l'espérance était au fond. Les Conseils municipaux, interprètes des populations, se le rappelèrent.

(*) Voyez *Recueil des Titres authentiques*, etc. Raymond Barbe, p. 37 et suivantes.

Il n'y avait plus qu'une loi spéciale qui fût capable d'emporter tous les obstacles légaux et autres qui, jusqu'alors, s'étaient dressés, invincibles, à l'encontre de la rénovation projetée. C'est cette loi que, par des délibérations identiques, les Conseils municipaux sollicitèrent des pouvoirs publics à l'effet d'assurer, en fin de compte, le régime de Rancié.

L'Administration centrale entra avec empressement dans cet ordre d'idées. Un projet de loi fut donc étudié, qui, dans quelques articles, posait les principes déjà reconnus utiles et nécessaires quant à la direction et à l'exploitation de la mine, et qui, par son article 7, laissait tous les détails d'application à résoudre à un règlement destiné à remplacer celui de 1833. La loi ne souffrit pas de difficulté devant le Parlement, et fut promulguée le 15 février 1893.

Loi du 15 février 1893. — Comme il arrive souvent quand on s'est une bonne fois décidé à édifier, au lieu de replâtrer, la loi et le règlement qui la complète offrent des avantages réels sur les projets qui n'avaient pu aboutir. C'est ainsi que le Comité d'administration, créé par l'article 1[er], tient un plus juste compte que n'aurait pu le faire la Commission syndicale nommée en vertu des règles de la loi municipale, de l'importance relative dans l'affaire des communes concessionnaires. Le Comité d'administration se compose de onze membres, dont deux sont élus par chacune des trois communes réellement intéressées à la prospérité des mines, savoir : Sem, Goulier et Olbier, et Vicdessos. Les conditions de son renouvellement intégral ou partiel et de sa dissolution sont prévues par les articles 2 et 3. L'article 4 précise un point sur lequel les communes ont beaucoup insisté, l'indépendance de Rancié au regard des biens et services communaux. Par l'article 5 se trouve consacré le droit des

habitants de la vallée, à l'exclusion de tous autres, à être occupés dans la mine ou ses dépendances. C'est le point essentiel des anciens privilèges, et l'un de ceux qu'il a paru impossible de ne pas conserver. L'article 6 crée un directeur de l'exploitation assisté des jurats choisis parmi les ouvriers. Par l'article 7, enfin, est stipulé l'établissement du règlement d'administration publique qui précisera tous les détails.

Ce dernier, discuté avec beaucoup d'attention au sein d'une Commission *ad hoc*, approuvé ensuite par le Conseil général des Mines, puis par le Conseil d'État, a été promulgué par décret du 24 avril 1893. Non seulement il se substitue à celui de 1833, mais il remplace du même coup deux actes du pouvoir exécutif qu'avait créés la sollicitude de l'Administration pour les mineurs. Le premier était l'ordonnance du 25 mai 1843 établissant une caisse de secours que devait alimenter l'extraction mensuelle de 2 voltes (120 kilogrammes) par chaque mineur. Le produit de la vente de cette fraction de minerai était réparti par une Commission composée d'un jurat et de quatre mineurs nommés par le préfet (*). Le second était le décret du 21 mars 1855 qui, pour mettre un peu d'ordre dans l'Office, divisait celui-ci en catégories de mineurs titulaires et auxiliaires, ces derniers nommés seulement pour une année et pouvant, d'ailleurs, être renommés.

Dispositions principales du décret du 24 avril 1893. — Passons rapidement en revue les dispositions principales du décret du 24 avril 1893 et essayons de montrer comment, dans cette matière si particulière, on a cherché, en émancipant les intéressés de toutes les entraves purement tatillonnes dont le règlement de 1833 était plein, à

(*) On sait qu'aujourd'hui cette caisse de secours est remplacée par la Société de Secours établie en vertu des dispositions de la loi du 29 juin 1894.

conserver les quelques liens jugés encore nécessaires avec le pouvoir central.

Le titre I (articles 1 à 8) traite du Comité et définit dans le détail ses attributions. La mention répétée du directeur de l'exploitation montre que, comme il convient, la responsabilité effective est remise aux mains d'une personne qualifiée. Il n'y a pas de différence sérieuse entre les fonctions d'un Conseil d'administration ordinaire et celles du comité de Rancié. Celui-ci intervient pour approuver le directeur et le couvrir. Dans certains cas cependant il agit par lui-même : ainsi c'est lui qui dresse la liste des habitants de la vallée sur laquelle le directeur doit choisir les mineurs dont l'ensemble constitue l'Office ; lui qui fixe la somme à prendre sur les réserves pour faire face à des charges exceptionnelles, etc. Il délibère, en général sur toutes les questions financières pouvant engager l'avenir (emprunts à contracter, service et gages des intérêts et amortissement, etc.).

Le titre II (art. 9 à 12) traite du directeur. Son choix, sous une réserve plutôt théorique et parfaitement en situation, s'agissant d'un établissement communal, est laissé à l'entière disposition du Comité d'administration, devant lequel ce directeur est exclusivement responsable.

Le Titre III consolide l'antique institution des jurats, chefs mineurs assermentés, agents de la police intérieure et extérieure des mines.

Le Titre IV reproduit les indications de l'article 5 de la loi, en stipulant l'obligation de choisir les mineurs parmi les habitants des huit communes. Reprenant et complétant les dispositions du décret du 21 mars 1855, il divise l'Office des mineurs en trois catégories : les auxiliaires, les titulaires et les vétérans. De cette dernière catégorie le règlement de 1833 ne s'était pas occupé ; mais comme on a toujours nommé à vie, il y a toujours eu, en fait, des vétérans, c'est-à-dire des vieillards et des fourbus.

Que devenaient-ils quand leurs forces épuisées ne leur permettaient plus aucun travail? François, à la page 159 de son ouvrage, nous les montre demandant l'aumône sur les routes et, dit-il, « jusque dans les départements voisins de l'Ariège ». La caisse de secours due à M. l'ingénieur Dupont avait apporté un certain remède à cette situation lamentable; mais, en dehors des infirmités évidentes, le classement à la vétérance avait donné lieu à des réclamations incessantes et parfois très fondées. Désormais c'est le Comité qui, sur la proposition du directeur, en prend la responsabilité.

L'article 20 consacre le droit au travail de tous les mineurs titulaires ou auxiliaires, c'est-à-dire « le droit, *sans préférence entre eux*, d'être occupés dans les travaux de la mine ou sur ses dépendances ». Cela implique fatalement l'égalité des salaires. Il n'a pas paru possible de toucher à cette pratique invétérée. Il est à propos de remarquer toutefois que les conditions spéciales dans lesquelles peut se mouvoir l'entreprise tendent à diminuer les conséquences bien connues qu'aurait partout ailleurs l'application de cette pratique anti-économique. On ne doit pas perdre de vue, en effet, que l'Office des mineurs, par le nombre de ses membres, qu'il faut bien conserver, correspondant, avec une activité ordinaire, à une extraction beaucoup plus considérable que ne comportent les besoins de chaque journée de travail, est loin de donner par homme ce que cette journée pourrait fournir convenablement remplie. Sa faible tâche journalière est uniforme; une fois satisfaite, l'ouvrier peut se reposer. Il est donc, en somme, à la tâche, et, n'était le désordre que les allées et venues introduiraient, il pourrait même quitter les chantiers à toute heure, son travail quotidien terminé. Il n'en reste pas moins évident que le système reste justiciable de ne rémunérer ni l'intelligence ni l'habileté professionnelle et d'éteindre chez le travailleur l'énergie et le ressort.

L'article 22 renferme l'une des dispositions les plus radicales de la réforme, celle qui, en établissant le paiement des mineurs en argent, a supprimé le magasinage.

L'article 24 est un de ceux qui ont le plus retenu l'attention dans l'élaboration du règlement. Il est ainsi conçu : « Si à un moment quelconque, un motif quelconque conduit à ralentir l'extraction, il y est pourvu par le directeur, soit en diminuant le nombre mensuel des journées de travail de l'ensemble des mineurs, soit en réduisant, pendant le temps nécessaire, le nombre des mineurs auxiliaires, cette réduction portant régulièrement sur les derniers entrés.

« Si ces mesures sont insuffisantes, le directeur peut, après approbation du Comité, réduire momentanément le nombre des mineurs à occuper à la mine par voie d'un tirage au sort qui sera renouvelé aussi souvent que le permettront les travaux à exécuter. »

Pour beaucoup de mineurs de Rancié, *leur* mine est inépuisable. Il faut pourtant prévoir le moment où, comme tant d'autres, elle verrait sa production diminuer, puis s'éteindre. Et, en dehors de cette éventualité fatale, on peut concevoir que le nombre de chantiers devienne en disproportion absolue avec celui des mineurs; on a donc dû prévoir la réduction du personnel occupé pour assurer la sécurité, tout en donnant satisfaction à ce sentiment si puissant, si jaloux de l'égalité, qui règne dans l'esprit des mineurs.

Le titre V (art. 27 à 34) règle les services financiers, fixe le dépôt des fonds encaissés par le *caissier comptable* à la Banque de France et précise le mode d'opérer, dans le cas, qu'il faut bien prévoir, de déficit, ou plus généralement d'insuffisance de disponible, à un moment donné, pour faire face à la feuille de paie; dans ce cas, tout le personnel de l'Office subit une réduction de salaire au prorata de ce qui lui est dû.

L'article 32 envisage, en revanche, des perspectives plus riantes. « Sur le solde créditeur des comptes représentant le bénéfice de l'année, il sera prélevé d'abord 75 p. 100, pour constituer, jusqu'à concurrence de 100.000 francs, un fonds de réserve destiné à parer à des besoins imprévus, à des charges exceptionnelles, ou à des accidents graves et sur lequel pourront être imputées les dépenses de premier établissement.

« Quand le fonds de réserve dépassera 100.000 francs, le prélèvement destiné à l'alimentation sera abaissé à 25 p. 100, et ce prélèvement sera abaissé à 5 p. 100 quand le fonds de réserve dépassera 200.000 francs.

« Le solde du bénéfice net, après ce prélèvement, sera réparti au prorata de leurs allocations, pendant l'année, entre les mineurs auxiliaires et titulaires, les jurats et autres employés inscrits à l'*Office des mineurs*.

« Toutefois, il ne sera fait aucun prélèvement pour la réserve, ni aucune répartition, avant que l'on ait, à titre de fonds de roulement, une somme équivalente aux dépenses ordinaires moyennes de 2 mois. »

On voit que tous les soins ont été pris pour assurer largement la reconstitution et le bon entretien de l'ancien et tutélaire fonds spécial, mis bien bas, en ces dernières années, par le percement de la galerie de la République.

Le titre VI vise la caisse de secours, en reproduisant à peu près les dispositions de l'ordonnance qui l'avait instituée. Aujourd'hui cela est devenu sans objet.

Enfin, les titres VII et VIII (art. 38 à 46) ont pour objet de stipuler toutes mesures utiles ou nécessaires pour faciliter le passage au nouvel état de choses. Parmi elles le quatrième alinéa de l'article 38 est des plus importants; ç'a été, à vrai dire, le joint qui a permis, sans fléchir sur les principes, de donner à la population minière une preuve manifeste de l'intérêt qui lui est porté. « Tant que le Ministre des Travaux publics estimera que le budget de la

mine n'est pas en état de subvenir aux appointements et indemnités du directeur, et s'il y a lieu d'un ingénieur conseil, le Ministre pourra, sur la demande du Comité, maintenir à sa disposition un contrôleur et un ingénieur des mines, rétribués par l'État, pour exercer respectivement les fonctions de directeur et d'ingénieur conseil. »

On le voit, l'État reste maître du jour et de l'heure. Il est permis d'espérer que, sans rien brusquer, et grâce notamment à certaines perspectives avantageuses qui se dessinent en ce moment, la situation normale de la mine, payant son état-major, finira bientôt par couronner l'œuvre.

Situation nouvelle. — C'est ainsi qu'a pris fin le régime plus que séculaire de Rancié, dont j'ai cherché à montrer le caractère technique, économique et moral, dans la suite des temps.

Je puis ajouter, en manière d'épilogue, que le système nouveau fonctionne depuis plus de 2 ans ; qu'il y a eu, en somme, moins de frottement au début qu'on eût pu le craindre, et que l'on a pu recueillir récemment des témoignages non équivoques de la satisfaction des ouvriers. Ils ont même donné, à la fin de 1893, une preuve de sagesse de très bon augure. Par suite d'un traité à renouveler, pour la fourniture du minerai à leur seul client possible — jusqu'à nouvel ordre, peut-être — la Société métallurgique de l'Ariège, et en raison du défaut d'entente sur le prix de vente et les conditions accessoires du marché, la mine a dû chômer pendant un mois et demi, et nul désordre n'a marqué cette situation fâcheuse. Ce qui, de l'avis de tout le monde, paraît avoir satisfait tout particulièrement les mineurs, c'est de recevoir leur salaire en argent au jour fixé, sans contestation ni débat. Ce salaire a pu être fixé dès l'abord à 2^{f},25 net, supérieur de 0^{f},25 (et même plus) à celui que produisait, en apparence, la vente directe, dans l'ancien système. Notons, à l'avantage

du mode actuel, qu'établi de façon à assurer avant toute chose un bénéfice à la mine, il représente un minimum d'encaissement, puisque, à la fin des opérations de l'année, la participation aux bénéfices pourra, plus tard, lui apporter un complément plus ou moins fort. Ajoutons que, si le prix du minerai s'élève sur le marché, la journée de l'ouvrier s'élèvera parallèlement. Ce sera à la Direction à apprécier avec prudence cette élévation possible en établissant son budget au début de l'année de façon à éviter tout mécompte, surtout dans les premiers temps, où il est si capital de reconstituer la réserve. Le bénéfice de l'année augmentera, si l'on tient la main-d'œuvre basse. Disons enfin qu'il paraîtrait qu'une extinction des dettes de la population minière se dessine.

En somme, l'Administration centrale, à force de persévérance et aussi par une juste appréciation des côtés contingents de l'œuvre à accomplir, a substitué, par une œuvre transactionnelle, à une situation devenue intolérable, un état de choses infiniment meilleur. Plus haut, j'ai eu occasion de mentionner le nombre croissant des articles contenus dans les divers règlements qui ont successivement régi l'affaire. On se souvient que celui de 1833 n'en comptait pas moins de 97. Le nouveau n'en renferme plus que 46, et il englobe, en outre, une ordonnance et un décret qui en portaient 15 à eux deux. L'idéal serait d'arriver à plus simple encore; l'avenir y pourvoira.

Avenir de Rancié. — Si maintenant, interrogeant l'avenir, on se demande quelles peuvent être les destinées réservées à Rancié, particulièrement dans quelles mesures pourront revivre les anciens projets de descente économique si ballottés, puis enterrés il y a 25 ans, on se trouve en présence de deux questions que les travaux actuellement en cours sont appelés à résoudre, ce semble, dans un bref délai.

La première est la richesse du gîte entre les niveaux de Becquey et de la République et même au dessous.

J'ai parlé plus haut de la galerie de ce dernier niveau. Étudiée par le Service des Mines, et commencée en 1883, elle a, après un parcours de 800 mètres dans le terrain calcaire qui forme le mur du gisement, recoupé son prolongement et l'a atteint au-dessous d'une partie riche à Becquey, soit à 80 mètres plus haut en verticale; les travaux de reconnaissance qui se sont développés depuis cette époque, après avoir donné quelques inquiétudes, se présentent mieux maintenant. La question est d'une telle importance que, bien que le capital de réserve (ancien fonds spécial) soit bien faible aujourd'hui, on n'a pas hésité à en consacrer une bonne partie dans le budget de l'année 1895, pour poursuivre la voie de fond et aller par elle rechercher le prolongement en profondeur des parties fécondes déjà connues et exploitées aux niveaux supérieurs. Si cette étude, qui ne peut durer plus de deux ou trois années, n'aboutissait qu'à un insuccès, ce serait à bref délai la fin de Rancié. Mais, comme je l'ai déjà dit plus haut, les faits aujourd'hui connus présentent les faits acquis sous un jour satisfaisant (*). Écartons donc cette sombre hypothèse, et envisageons l'éventualité favorable. Il est évident, d'abord, que l'abatage et l'extraction se feront d'après les méthodes rationnelles en usage, qu'il sera dit adieu sous peu au gaspillage plein de danger, au gourbatage barbare, dont j'ai présenté le tableau dans le travail actuel.

Il est non moins évident que, sous peu, tout le roulage se fera par la galerie de la République. Alors se posera à nou-

(*) Aujourd'hui, la galerie de la République a déjà une centaine de mètres d'allongement dans le niveau géodique, et une traverse horizontale qui part du toit vers le milieu de la partie reconnue a 19m,50 de longueur, en plein minerai avant de rencontrer le mur.

veau le problème de la descente économique, que M. Mussy avait voulu résoudre. C'est la seconde question dont je parlais quelques lignes plus haut. Comment portera-t-on économiquement le minerai à la gare de Tarascon ? Il ne faut plus parler de plans inclinés et de voie ferrée, pour atteindre la vallée de Vicdessos. La topographie des lieux ne s'y prêterait pas. L'exemple si répandu maintenant dans les pays de montagnes, dans les Pyrénées notamment, de l'emploi des câbles aériens ne permettra pas d'hésitation sur la convenance de l'appliquer pour franchir les 7 à 800 mètres de distance horizontale et les 220 mètres de différence d'altitude entre la place de sortie des wagons de la mine et le hameau de Cabre. Une installation de tramways sur route complèterait alors très convenablement le système rationnel de transport économique jusqu'à Tarascon.

Au point de vue du prix de revient, quels avantages en pourrait-on espérer? Un simple aperçu va nous le faire connaître. Actuellement, avec les salaires aujourd'hui fixés, avec les tarifs de muletage et le transport par charrette à la gare de Tarascon, le prix de revient est le suivant, par tonne :

Extraction	7f,10	
Entretien des galeries, fournitures et divers	0 ,90	
Muletage	2 ,65	4f,95
Transport de Cabre à Tarascon	2 ,30	
Frais généraux	0 ,43	
	13f,38	

Le prix de vente à la Société métallurgique de l'Ariège est de 13f,50. On voit que la marge est bien faible.

Admettons l'emploi d'un câble entre la place de la République et Cabre. D'exemples analogues nombreux il résulte que le prix de la descente différerait peu de 0f,50 par tonne. On ferait donc facilement l'économie de 2 francs

sur le muletage, et, si l'extraction devenait suffisante, ce dont il ne faut pas douter, pour rendre rationnel le tramway sur route, on pourrait encore espérer sur ce point une économie de 1f,25 (*); ce serait donc au bas mot une réduction de 3f,25 sur le transport total.

Et il faut bien le remarquer, tout cela peut se faire sans que rien soit changé à l'organisation du travail, telle que la consacrent la loi nouvelle et le décret qui l'a suivie.

Que serait-ce si, comme on peut l'entrevoir dans un avenir plus éloigné, par un emploi plus judicieux de l'activité du mineur, et par l'introduction des méthodes rationnelles d'exploitation, on venait à s'attaquer au chiffre véritablement exorbitant qui tient la tête du tableau ci-dessus : 7f,10 d'extraction ! Ce chiffre pourrait être réduit de plus de moitié. On peut affirmer que le minerai pourrait alors être livré en gare de Tarascon avec bénéfice au prix de 7 à 8 francs. Affranchi des exigences de son seul consommateur forcé, Rancié reverrait les jours où les forges catalanes se disputaient ses faveurs et, instruit par l'expérience et sagement dirigé, il se garderait de les mettre à trop haut prix.

Mais ce sont là des éventualités sur lesquelles il n'y a pas lieu, pour le moment, d'insister. Chaque période suffit à sa tâche. Les descendants des membres actuels de l'Office auront à se poser la question des galeries de rabais inférieures au niveau actuellement le plus bas. La plus radicale, qui partirait de Cabre et qui aurait environ 1.500 mètres de longueur, n'aurait rien que de très abordable, même par les moyens d'action actuels ; quant aux ressources financières, la réserve constituée par l'article 32 aidée, s'il était nécessaire, d'un emprunt convenablement garanti — si possible — y pourvoirait naturellement.

(*) Mussy, *Annales des Mines*, 6e série, t. XVI, page 372.

§ 3. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Je voudrais, en terminant cette notice, résumer brièvement quelques-unes des conséquences économiques et morales qu'elle me paraît renfermer et qui se sont déjà présentées éparses dans les développements qui précèdent. Le lecteur doit s'attendre à les trouver empreintes de quelque banalité résultant de la quasi-évidence de certaines d'entre elles. Mais, puisqu'on les méconnaît trop souvent, il n'est pas inutile de les répéter une fois de plus surtout quand l'on peut appuyer leur exactitude sur l'observation et l'expérience de plusieurs siècles.

L'histoire de Rancié nous démontrerait donc, si le bon sens ne l'avait fait avant elle :

Au point de vue moral, que les libéralités mal appropriées à la situation de ceux qui en bénéficient peuvent être la source de leurs maux ; que tout bien livré à un groupe périclitera si, pour le mettre en valeur, on ne constitue fortement une autorité ayant à la fois compétence et responsabilité pour gérer le bien commun, autorité qui a droit à l'obéissance et au respect, conditions primordiales absolument indispensables au succès de l'entreprise ;

Au point de vue économique :

Que la loi de l'offre et de la demande n'est pas près de tomber en désuétude ;

Qu'une affaire, commençât-elle d'une manière infime, comme l'a fait Rancié, dès qu'elle prend quelque importance, ne peut se passer du concours du facteur capital. Sans l'institution du sou par volte de 1719, l'exploitation de Rancié n'existerait plus depuis longtemps. On a dit que le capital était du travail accumulé. L'image est exacte de tout point, et même saisissante dans l'espèce particulière. En ce sens, on peut dire que tous les travaux de longue

haleine effectués à Rancié, tels que la galerie de Becquey et, plus récemment, celle de la République ont été l'œuvre des générations de mineurs qui ont, depuis 1719, empilé leur sou par volte pour former le fonds spécial. Il faut que les mineurs le comprennent : du jour où ils ont constitué ce dernier ils ont fait de la prévoyance, c'est-à-dire, financièrement, du capital.

Au total, et pour en finir, élargissons ces aperçus et rappelons ce qui a été dit si souvent en la matière. Toute affaire industrielle importante est le produit de trois facteurs : le capital, le travail et l'intelligence. Il est peut-être moins courant de remarquer que cette analyse remonte au moins à Fourier, le chef de l'École phalanstérienne, qui n'allait à rien moins qu'à rémunérer ces trois facteurs dans les proportions de 5, 4 et 3 sur les bénéfices totaux (*) ; ce détail était puéril, puisque leur part d'intervention est essentiellement variable. Quoi qu'il en soit, rien n'empêche en principe le mineur, ou les mineurs, de prendre leur part des deux premiers facteurs, au lieu de se cantonner dans le second. La difficulté, il faut bien le reconnaître, c'est que, surtout quand il s'agit de ces vastes entreprises que constituent les exploitations de mines, il y a lieu, pour les créer de toutes pièces, à une immobilisation de fonds très considérables ; « en France, il faut dépenser de 2 à 3 millions de francs pour créer une exploitation de 100.000 tonnes de houille (**) ». Le premier en date des trois éléments vitaux de l'affaire, savoir le capital destiné à la fonder, serait dès lors inaccessible, en général, à la population minière.

En sera-t-il toujours ainsi? Il y aurait peut-être témérité à l'affirmer d'une manière absolue. Qui sait ce que

---

(*) Voy. *Nouvelle Revue*, 15 janvier 1894, p. 414.

(**) LEDOUX, *L'Organisation du Travail dans les Mines, et particulièrement dans les Houillères*, p. 4. Paris, 1890.

renferment dans leurs flancs la démocratisation du crédit, l'abaissement du taux de l'intérêt, l'extension des syndicats et de leur personnalité, les actions de 1 livre sterling? Mais ce qu'il faut retenir, le point de terre ferme au milieu des incertitudes et des fluctuations futures, c'est que la mine ne sera aux mineurs que quand les mineurs auront pu se constituer avant tout en groupe capitaliste, ce qui ne les empêcherait, en aucune façon, théoriquement, d'entrer à leur propre service comme mineurs.

Il est bien vrai qu'en ces dernières années, à la suite de circonstances particulières, que ce n'est point le lieu de rappeler, on a pu avoir dans un bassin houiller important quelque chose comme l'étiquette de la mine aux mineurs, mais il ne paraît pas que ces entreprises aient démontré qu'on pût se passer de capital soit de premier établissement, soit d'entretien ou de roulement. Les pouvoirs publics n'en doivent pas moins, à mon sens, suivre avec un véritable intérêt les efforts mis en jeu dans les affaires auxquelles je viens de faire allusion ; jusqu'à présent, si l'on s'en rapporte aux difficultés judiciaires auxquelles elles ont donné lieu, elles semblent avoir démontré surtout le bien fondé des conséquences morales que j'ai formulées en tête de ces conclusions ; mais elles datent seulement d'hier, et le temps est un grand éducateur.

Janvier 1896.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

EMILE BAYLE

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES MINES,

Par M. H. DOUVILLÉ, Ingénieur en chef des Mines.

Claude-Émile Bayle est né à La Rochelle en 1819. Dès son enfance, ses relations avec la famille d'un illustre naturaliste, d'Orbigny, développèrent en lui un goût des plus marqués pour l'histoire naturelle ; mais sa vive intelligence n'en était pas moins ouverte aux sujets les plus divers. Il fit des études brillantes et, dès 1838, était reçu à l'École polytechnique. Il en sortit dans les premiers et fut classé dans le service des Mines.

Ses professeurs, Élie de Beaumont et Dufrénoy, surent vite apprécier quels services on pouvait attendre de ses aptitudes spéciales ; le 31 mai 1844, il était attaché au service des collections de l'École des Mines. Le développement des recherches que nécessitait l'établissement de la carte géologique de France montrait de plus en plus qu'il était indispensable de s'appuyer sur la détermination précise des fossiles. Aussi, en 1848, Bayle était chargé d'inaugurer à l'École des Mines des leçons de paléontologie ; mais ce n'est que seize ans plus tard, en 1864, qu'il fut nommé définitivement professeur.

Aux qualités du naturaliste, Bayle joignait la rigueur du raisonnement et l'esprit de méthode du mathématicien ; les dons brillants dont son esprit était doué, la justesse

de son coup d'œil, la précision de son jugement le placèrent de suite au premier rang des paléontologues.

Dès ses premiers travaux, il avait compris que les fossiles devaient être étudiés de la même manière et avec la même méthode que les animaux vivants; ennemi des restaurations et des déterminations hâtives, il s'est toujours attaché à montrer que l'étude des fossiles ne pouvait aboutir à des conclusions certaines que tout autant que l'on en connaissait bien tous les caractères. Un échantillon mal conservé, un moule incomplet, non seulement étaient inutiles, mais pouvaient être dangereux en motivant une détermination fausse, et il les rejetait impitoyablement, avec un peu trop de rigueur, peut-être ; mais il ne faut pas oublier que cette réaction était nécessaire, et encore aujourd'hui, combien de fois n'avons-nous pas vu des listes de fossiles, encombrées de noms sans valeur réelle, servir de point de départ à des assimilations inexactes ?

Mais il arrive fréquemment aussi que des échantillons bien conservés sont empâtés dans la gangue et que leurs caractères internes échappent à l'observation ; c'est à ceux-là que Bayle s'attaquait surtout. Patiemment il s'efforçait de les dégager avec le burin et le ciseau, et c'est ainsi qu'avec une habilité de main incomparable il est arrivé à réaliser ces magnifiques préparations qui sont le plus bel ornement des collections de l'École des Mines. Il croyait que, pour bien connaître un échantillon, il fallait l'avoir préparé soi-même, et il considérait comme du temps utilement employé les longues heures qu'il consacrait à ce travail matériel.

Les premières recherches qu'il entreprit dans cet ordre d'idées eurent un résultat brillant : les Rudistes étaient encore très incomplètement connus; si Deshayes était arrivé avec beaucoup de sagacité à indiquer la véritable position des *Radiolites* parmi les Lamellibranches,

d'autres savants éminents avaient, au contraire, proposé de les rapprocher des Brachiopodes. C'est que, malgré les travaux très intéressants de Sæmann et de Woodward, leur constitution interne présentait encore bien des obscurités. Et cependant, toutes les collections renfermaient de nombreux échantillons de ces fossiles, et beaucoup d'entre eux étaient remarquablement conservés. Mais leur appareil cardinal était d'une complication telle que personne n'avait encore pu réussir à les dégager d'une manière complète. Bayle s'attacha à résoudre définitivement ce problème : à peu de distance de sa ville natale se trouvaient de riches gisements d'*Hippurites radiosus;* il parvient à s'en procurer un grand nombre d'échantillons, plusieurs centaines, nous dit-il ; parmi ceux-ci quelques-uns ont une gangue plus marneuse, plus tendre, et à force de patience et d'habileté il réussit à isoler complètement les deux valves et à mettre en évidence tous leurs caractères ; les pièces qu'il a ainsi obtenues sont restées uniques jusqu'à présent.

Il passe ensuite à l'étude des autres Rudistes, il sépare les *Radiolites* des *Sphérulites*, isole les charnières complètes de ces genres, montre l'absence de ligament dans certaines de ces formes et donne enfin, en 1857, une révision complète des espèces connues dans ces trois genres ; il indique en même temps leur répartition dans les différents horizons du terrain crétacé du midi de la France.

Pendant plus de vingt-cinq années, cette œuvre magistrale allait servir de base aux études des géologues, et encore aujourd'hui ses parties essentielles restent inattaquables.

Il faut reconnaître du reste que ce procédé de préparation ne pouvait être appliqué que dans des cas exceptionnels et n'était pas à la portée de tous. Aussi, dans presque toutes les espèces, les caractères internes res-

tèrent ignorés, et les géologues continuèrent à établir leurs déterminations sur des bases incertaines et insuffisantes.

D'autres sujets d'étude avaient également attiré l'attention du jeune et brillant professeur. En 1846, il va examiner à Alger les nombreux échantillons de fossiles recueillis par M. Fournel, ingénieur en chef des Mines, et il publie le résultat de son examen dans le premier volume de *La Richesse minérale de l'Algérie*. Dans cet ouvrage il décrit et figure un certain nombre de formes nouvelles, inaugurant ainsi ce nouveau champ de recherches ouvert à l'activité de nos géologues.

Les matériaux nombreux qui lui étaient communiqués par les explorateurs de cette colonie lui permirent de publier, en 1854, en collaboration avec M. Ville, une notice géologique sur les provinces d'Oran et d'Alger. La même année, il faisait connaître une riche collection d'ossements fossiles recueillis par Dubocq près de Constantine.

Ajoutons encore à ces travaux divers la description qu'il publia avec Coquand d'une série de fossiles recueillis au Chili par Domeyko et qui parut dans les *Mémoires de la Société géologique* en 1851.

C'est le moment le plus brillant de la carrière de Bayle. Son cours à l'École des Mines attirait l'attention de tous les savants ; sa parole claire et précise savait rendre attrayantes les descriptions les plus arides. Dessinateur hors ligne, il excellait à faire revivre, sous les yeux de ses auditeurs émerveillés, les antiques créatures disparues.

Les élèves suivaient son cours par plaisir, plutôt que par devoir, et il est resté pour tous ceux qui ont eu l'honneur d'écouter ses leçons, comme un modèle bien difficile à imiter.

De toutes parts, les géologues, séduits par son activité et par l'ardeur qu'il apportait à ces études si difficiles, lui

envoyaient le produit de leurs recherches, et demandaient ses conseils ; par ses soins incessants, la collection de paléontologie de l'École des Mines se constituait peu à peu : de Koninck lui donnait la belle collection de fossiles carbonifères qu'il avait patiemment formée, estimant que les nombreux types qu'il avait figurés y seraient plus utiles aux géologues, mieux appréciés que dans son pays natal. Puzos lui léguait une collection d'Ammonites incomparable à cette époque et dont l'importance est encore considérable aujourd'hui. Michelin suivait cet exemple, et, à sa mort, sa belle collection d'Échinides fossiles venait s'ajouter aux riches matériaux que Bayle avait déjà réunis.

A ce moment, l'activité du professeur paraît se ralentir ; son œuvre, son œuvre écrite du moins, s'interrompt presque brusquement. Le quatrième volume de l'*Explication de la Carte géologique de la France*, dans lequel il devait nous faire connaître les fossiles caractéristiques des divers terrains, reste inachevé ; la magnifique série des planches qui devait l'accompagner ne verra le jour que bien longtemps après, et il ne pourra que nous faire regretter plus vivement que l'œuvre entreprise ait été abandonnée.

Et cependant, jamais Bayle n'avait été plus ardent au travail : arrivé le premier dans son laboratoire de l'École des Mines, il en sortait le dernier, et il n'interrompait ses travaux de préparation et de classement que pour nous guider dans nos recherches ou nous aider de ses conseils.

C'est que, renonçant avec une abnégation rare à ses travaux personnels, il avait résolu de se consacrer tout entier à cette collection de l'École des Mines qu'il avait formée peu à peu, et dont il voulait faire une collection modèle.

Pour arriver à ce résultat, il avait à surmonter des difficultés considérables : il était seul, sans aide, sans prépa-

rateur ; le budget d'entretien mis à sa disposition était si minime, que c'est à peine s'il lui suffisait pour se procurer les cartons et les tubes dont il avait besoin. Aussi faisait-il tout par lui-même ; c'est lui qui préparait les échantillons, on sait avec quelle habileté ; c'est lui qui les fixait sur les cartons ; c'est lui, enfin, qui écrivait les étiquettes ; aujourd'hui seulement, en parcourant les collections qu'il a ainsi patiemment créées, on peut se rendre compte de la somme énorme de travail qu'il a dû y consacrer.

En 1867, il avait fait acheter la collection Deshayes et, à cette occasion, il avait enfin obtenu qu'on lui adjoignit un de ses élèves, un jeune Ingénieur des Ponts et Chaussées, notre confrère et ami Bayan, dont il avait su distinguer les heureuses dispositions. Or, la collection Deshayes était aussi riche en coquilles vivantes qu'en coquilles fossiles, et il devenait possible de rapprocher ces formes habituellement séparées et de réaliser ainsi une conception chère aux paléontologues, pour qui la faune actuelle n'est que la suite et la continuation des faunes tertiaires ; mais, pour cela, il fallait remanier toute la collection, rangée jusque-là d'après l'ordre stratigraphique. A ce moment, je commençais à fréquenter le laboratoire de paléontologie de l'École des Mines, et je crois me rappeler que c'était Bayan qui soutenait la nécessité de ce changement, et que Bayle hésitait à s'engager dans cette voie nouvelle.

Sur ces entrefaites, la guerre arriva ; il fallut transporter et empiler dans les caves la collection tout entière, pour la mettre à l'abri du bombardement. Les échantillons résistèrent bien à cette dure épreuve, mais ce n'en fut pas moins un désastre : les cartons étaient moisis, les échantillons décollés ; il fallut tout remplacer et recommencer à nouveau ce rangement qui avait déjà coûté à Bayle tant d'années de travail.

Cette fois, l'idée de Bayan triompha, si complètement

même, que Bayle se défendit d'en avoir jamais eu d'autre, et le classement paléontologique remplaça le classement stratigraphique, permettant ainsi de saisir d'un seul coup d'œil l'ensemble des modifications qu'un type donné a éprouvées pendant la série des temps géologiques.

Mais la place manquait, les échantillons accumulés s'entassaient les uns sur les autres et devenaient de plus en plus inaccessibles. La situation était navrante et paraissait sans issue : la collection ne pouvait s'agrandir qu'en délogeant le Directeur et l'Inspecteur de l'École. Et ces appartements si agréables, si bien situés, avec une vue magnifique s'étendant par-dessus les arbres du Luxembourg jusqu'au Mont-Valérien et jusqu'aux hauteurs boisées du parc de Saint-Cloud, n'étaient-ils pas trop beaux pour des pierres et des fossiles ? En outre, un gros crédit était nécessaire, et si le projet d'agrandissement qui tenait si fort à cœur à Bayle finit par triompher devant la Commission du budget, ce fut grâce à l'appui inespéré qu'il trouva au sein même de celle-ci.

Les géologues qui fréquentaient les collections de l'École des Mines appuyaient de toutes leurs forces ce projet et le jugeaient indispensable. Parmi ceux-ci, un de nos confrères était des plus ardents et des plus convaincus. Déjà, à plusieurs reprises, il avait pu intervenir utilement pour sauvegarder l'intérêt des collections. Il tenta de nouvelles démarches. Un de ses amis, géologue et ingénieur des Mines, était de l'entourage de Gambetta ; il sut intéresser à la question le Président de la Commission du budget et l'amena à l'École des Mines. Volontairement ou involontairement, Bayle était absent ce jour-là, et j'eus la bonne fortune de le remplacer. Gambetta n'avait certainement jamais vu de fossiles ; il fut frappé de ce monde nouveau qui s'ouvrait devant lui ; il comprit bien vite qu'il n'y avait pas là seulement une accumulation d'objets bizarres et curieux, mais que ces

restes d'animaux si différents de ceux d'aujourd'hui permettaient de remonter dans la nuit des temps, bien au-delà de la période historique, et que seuls ils pourraient peut-être un jour jeter quelque lumière sur le grand problème de l'origine des espèces et de l'origine de la vie! Il s'intéressa aussi aux détails d'organisation de ces formes si nouvelles pour lui, et je suis forcé d'avouer que quelques-unes des questions qu'il posa m'embarrassèrent fort, comme par exemple si le nombre des cloisons des Ammonites indiquait le nombre d'années pendant lesquelles l'animal avait vécu.

Mais, dans l'intérêt même des collections, il importait que le point de vue philosophique ne fît pas oublier le côté pratique et immédiatement utile de la paléontologie ; il était nécessaire de convaincre le visiteur que l'étude des fossiles était indispensable à tous ceux qui ont à fouiller le sol, soit pour l'établissement des grands travaux, soit pour la recherche des matières utiles à l'industrie. Un hasard heureux vint donner à notre démonstration un appui inattendu : au nombre des visiteurs (les collections étaient ce jour-là ouvertes au public) se trouvait un homme en costume d'ouvrier, tellement absorbé dans l'examen de la collection qu'il ne fit pas la moindre attention à ce qui se passait autour de lui. Gambetta le remarqua et en fut vivement frappé ; cet incident, qui n'était pas pour déplaire aux sentiments démocratiques de l'illustre orateur, ne fut sans doute pas sans influence sur l'impression qu'il emporta.

Les résultats de cette visite ne se firent pas attendre ; grâce à l'appui de la Commission du budget, l'appartement de l'Inspecteur de l'École et, peu d'années après, celui du Directeur furent annexés aux collections de paléontologie qui occupèrent dès lors tout le second étage. Quelques mois suffirent à Bayle pour étendre la collection dans les nouvelles salles, et bientôt il put, avec un légitime orgueil, mettre sous les yeux des savants les magnifiques séries de fossiles qu'il avait depuis longtemps préparées.

Cette collection, qui à son arrivée à l'École des Mines ne comprenait que quelques vitrines, remplissait maintenant 17 salles représentant une superficie de près de mille mètres carrés. Par le nombre et le choix des échantillons, par leur arrangement méthodique et par les commodités qu'elle offrait à l'étude, cette collection venait se placer d'emblée au premier rang des collections similaires.

Grâce aux indications données par Bayle, l'aménagement des salles a été fait d'une manière essentiellement pratique ; tous les échantillons sont bien et facilement visibles, et si la division en petites salles n'a pas laissé l'architecte libre de « faire grand », en revanche, elle a permis de multiplier les surfaces d'exposition, qui représentent la partie réellement utile des collections. Depuis, on a édifié à grands frais, et pour y installer des collections analogues, des monuments qui frappent certainement la vue par leurs dimensions et leurs proportions architecturales ; mais si leurs grandes salles peuvent faire l'orgueil des architectes, elles font le désespoir de ceux qui vont y travailler. Au point de vue de la commodité de l'étude et de la facilité du travail, la disposition adoptée à l'École des Mines s'est montrée et est restée infiniment supérieure.

Pour bien se rendre compte de l'importance de la collection que Bayle a pour ainsi dire constituée de toutes pièces, il suffira de citer quelques chiffres : les armoires vitrées disposées tout autour des salles sont au nombre de 368, représentant une surface de 402 mètres carrés ; le nombre des vitrines horizontales est de 420, avec une surface de 241 mètres carrés, ce qui porte à 650 mètres environ la surface totale disponible pour l'exposition des échantillons. Cette surface permet d'exposer au moins un

carton de chaque espèce et d'y ajouter le plus souvent les variétés les plus intéressantes. Ajoutons que les tiroirs des tables et ceux du pourtour sont au nombre de 4.104 représentant une surface de 800 mètres carrés, et portant la surface totale disponible à 1.450 mètres carrés.

Si je suis entré dans tous ces détails, c'est que l'organisation de cette collection est l'œuvre capitale de Bayle, œuvre, il faut bien le dire, toute de dévouement à la science. Il lui a consacré tout son temps et toute son intelligence, négligeant, pour la mener à bonne fin, les travaux personnels qui lui eussent certainement rapporté pendant sa vie plus d'honneur et de profit ; il ne se faisait, du reste, aucune illusion sur ce point et il n'ignorait pas que, malgré son importance, l'œuvre qu'il édifiait ne pourrait être appréciée à sa vraie valeur que par un bien petit nombre de savants. Sans exagération, on peut dire que, toute sa vie, il a travaillé pour les autres.

On comprend maintenant pourquoi l'œuvre écrite de Bayle a été relativement si peu importante ; depuis ses derniers travaux sur les Rudistes, en 1856, il n'a pour ainsi dire rien publié ; l'*Atlas* du quatrième volume de l'*Explication de la Carte géologique de la France*, consacré aux fossiles caractéristiques des terrains, parait sans texte en 1878, avec une simple explication des planches. A peine pourrons-nous relever encore quelques courtes notes publiées vers la même époque dans le *Journal de Conchyliologie* et relatives surtout à des rectifications de noms de genres qui n'étaient pas conformes aux règles de la nomenclature.

Depuis longtemps, il se préoccupait de cette réforme à apporter aux dénominations habituellement employées en paléontologie ; il ne suffisait pas, en effet, d'exposer aux yeux du public de belles séries de fossiles, il fallait encore indiquer les noms qu'ils devaient porter ; mais jamais Bayle ne put se résigner à le faire sans vérifier rigoureusement

l'exactitude de leur état civil. C'était là un travail considérable et qui nécessitait la révision de tous les travaux paléontologiques publiés depuis plus d'un siècle ; il n'hésita pas à l'entreprendre, et avec l'aide de Bayan il commença un relevé complet par fiches de tous les fossiles décrits ou figurés. Pendant de longues années, il a poursuivi ce travail et il a réuni ainsi dans son laboratoire de l'École des Mines un nombre de fiches considérable : mais la tâche excédait les forces d'un homme, et Bayle a dû laisser cette œuvre inachevée ; même dans cet état incomplet, elle constitue une mine de renseignements précieux et elle a souvent rendu de sérieux services aux paléontologues. Il serait vivement à souhaiter que ce travail pût être un jour repris et mené à bonne fin.

L'âge de la retraite vint, en 1881, surprendre Bayle en pleine activité de travail ; il n'en continua pas moins à fréquenter assidûment ce laboratoire où il avait passé de si longues années. Puis la maladie vint, son activité se ralentit, et il fut peu à peu obligé de renoncer à ses occupations préférées.

Tous ceux qui l'ont connu savent que, toute sa vie, il eut à lutter contre des difficultés matérielles de toute nature : la science était pour lui un refuge et une diversion à ses tristes préoccupations. Vers la fin de sa vie il avait retrouvé le calme et la tranquillité auprès de son gendre et de sa fille qu'il adorait, et qui l'entourèrent des soins les plus dévoués. C'est là que la mort vint le frapper presque subitement, le 17 janvier 1895.

Nous avons cherché à faire ressortir toute l'importance de l'œuvre de celui qui fut notre maître pendant de longues années ; comme nous l'avons dit plus haut, cette œuvre fut toute de dévouement à la science ; malheureusement pour sa mémoire elle est anonyme et, quand ceux qui l'ont connu auront disparu à leur tour, rien ne restera pour rappeler le nom de celui qui a élevé à la science un monument

aussi considérable. C'était pour nous un devoir de mettre en lumière la part capitale qui revient à Bayle dans la création de la collection de paléontologie de l'École des Mines, afin que ceux qui viendront plus tard consulter et utiliser les admirables matériaux d'études qu'il a su réunir puissent faire remonter jusqu'à lui le juste tribut de leur reconnaissance.

LISTE DES COLLECTIONS PRINCIPALES

RÉUNIES PAR BAYLE A L'ÉCOLE DES MINES.

Collection de Koninck comprenant les types figurés dans son premier ouvrage sur le calcaire carbonifère de Belgique (donnée en 1846).

Collection Puzos, riche surtout en Céphalopodes des terrains secondaires et renfermant un grand nombre de types étudiés et figurés par d'Orbigny (donnée en 1848).

Collection Boisvillette, comprenant une belle série des mammifères fossiles de Saint-Prest (donnée en 1854).

Collection Michelin, la plus importante à cette époque en Échinides fossiles.

Collection Dupuis (acquise en 1864), comprenant les fossiles du Gault et du Néocomien des environs de Saint-Florentin ; un grand nombre de ces échantillons ont été figurés par d'Orbigny dans *la Paléontologie française*.

Collection Caillat (achetée en 1864), remarquable par ses belles séries de fossiles tertiaires provenant surtout de Grignon.

Collection Deshayes (achetée en 1867). Elle comprend, en outre des types figurés par cet auteur dans ses monographies des terrains tertiaires parisiens et de ceux qu'il a décrits dans *l'Encyclopédie méthodique*, une collection générale des fossiles de tous les terrains et une très belle collection de coquilles vivantes.

Collection achetée à *Barrande*, comprenant une série des fossiles du Silurien de la Bohême.

Collection Terquem (achetée en 1872), surtout riche en fossiles du Jurassique de la Lorraine ; elle comprend les types figurés dans les différents mémoires de cet auteur, et une magnifique série de Foraminifères.

Collection de Verneuil (léguée en 1873) ; elle comprend une collection générale des fossiles de l'Espagne, recueillis à l'appui de la carte géologique de ce pays, dressée pour la première fois par de Verneuil, et de nombreuses séries des fossiles paléozoïques de la Russie, de la France, de l'Angleterre, de la Belgique, de l'Amérique, etc.

(Voir la notice sur cette collection publiée par Barrande dans les *Annales des Mines*, 7e série, t. IV, p. 273).

LISTE DES TRAVAUX PUBLIÉS PAR BAYLE.

1848. Sur l'identité de l'*Ammonites tatricus* et de l'*Amm. Calypso* (*B. S. G. F.*, 2e série, t. V, p. 450).

1849. Sur la persistance de certaines espèces dans plusieurs niveaux géologiques (*B. S. G. F.*, 2e série, t. VI, p. 325).

1849. Observations sur la faune de Saint-Cassian (*B. S. G. F.*, t. VI, p. 323 (l'auteur considère le gisement de Saint-Cassian comme triasique)

1849. Notes sur quelques fossiles de la province de Constantine (annexées à *la Richesse minérale de l'Algérie* de H. Fournel p. 359-379, pl. XVII et XVIII) (espèces nouvelles décrites : *Amm. Fourneli*, *Nerinea pustulifera*, *Fusus affinis*, *Pyrula cretacea*, *Pterocera inflata*, *Pt. elongata*, *Natica Fourneli*, *Ostrea dichotoma O. elegans*, *O. tetragona*, *Pecten tricostatus*, *Cardium sulciferum*).

1850. Extrait du mémoire suivant (*B. S. G. F.*, 2e série, t. VII, p. 232).

1851. Mémoire sur les fossiles secondaires recueillis au Chili par M. Ignace Domeyko et sur les terrains auxquels ils appartiennent ; en collaboration avec Coquand (47 p., 8 pl.) (*Mém. S. G. France*, 2e série, t. IV).

1854. Sur les ossements fossiles recueillis par M. Dubocq, près de Constantine (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XI, p. 343).

1854. Notice géologique sur les provinces d'Oran et d'Alger (en collaboration avec M. Ville) (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XI, p. 499).

1855. Observations sur la structure des coquilles des Hippurites, suivies de quelques remarques sur les Radiolites et de la comparaison des Sphérulites avec les deux genres de Rudistes précédents (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XII, p. 772-808, pl. XVII-XIX).

1855. Note sur le système dentaire de l'*Anthracotherium magnum* (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XII, p. 936, pl. XXII).

1855. Sur le *Listriodon splendens* et quelques autres Mammifères découverts dans la mollasse miocène de la Chaux de Fonds (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XIII, p. 24).

1855. Sur le *Sphærulites foliaceus* (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XIII, p. 71, pl. I).

1855. Sur le *Radiolites Jouanneti* (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XIII, p. 101-102, pl. VI).

1855. Sur le *Radiolites cornupastoris* (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XIII, p. 139-146, pl. IX).

1856. Notice sur une nouvelle espèce du genre *Chama* (*Journ. de conch.*, vol. V, p. 365-370, pl. XIV) (*Chama spondyloïdes*, probablement un *Monopleura*, de la craie blanche de Royan).

1856. Note sur le *Radiolites angulosus* (*Journ. conch.*, vol. V, p. 370-388, pl. XV) (l'auteur donne les caractères des genres *Radiolites*, *Sphærulites*, *Hippurites* et *Caprina ;* il décrit et figure le *R. angulosus* du Turonien de Pons et de la Rochebeaucourt. Il donne un aperçu de la division des *Radiolites* en trois groupes).

1857. Nouvelles observations sur quelques espèces de Rudistes (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XIV, p. 647-712, pl. XIII-XV) (l'auteur décrit le *Radiolites Bournoni*, le *Sphærulites Hœninghausi* et l'*Hippurites cornuvaccinum ;* il donne les caractéristiques des trois genres : *Radiolites*, *Sphærulites*, *Hippurites*, et fait une révision complète des espèces connues à cette époque ; il signale quelques formes nouvelles : *Sph. Coquandi*, *Sæmanni*, *Sharpei*, *lusitanicus*, *Beaumonti*, *Nouleti*, *Hipp. Lamarki*).

1859. Sur les Rudistes découverts dans la craie de Maëstricht (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XV, p. 210-218, pl. III) (il signale l'*H. Lapeirousei* qu'il réunit à l'*H. radiosus*, — le *Sph. Hœninghausi*, le *Sph. Faujasi*, n. sp., et des *Radiolites*).

1861. Sur une portion de pied d'*Helladotherium* ?, provenant de Cucuron (Vaucluse) (*B. S. G. F.*, 2e série, t. XVIII, p. 598).

1878. Explication de la Carte géologique de la France, tome quatrième, Fossiles principaux des terrains ; atlas de 158 planches avec explications en regard de chaque planche (un grand nombre de genres et d'espèces nouvelles sont figurés dans cet atlas (voir pour les genres nouveaux le *Bull. Soc. Géol. France*, compte rendu sommaire de la séance du 13 janvier 1879) ; les espèces nouvelles sont les suivantes : Phacops Potieri, Proetus Œhlerti, Cyrtoceras Zeilleri, C. Chaperi, Aganides Fourneti, Terebratula Faivrei, T. latifrons, T. Helena, T. Ranvillensis, T. Quillyensis, Zeilleria Egena, Uncinulus Œhlerti, U. imperator, Uncinulina fallaciosa, Conchidium inornatum, C. Chaperi, Orthis Douvillei, O. Chaperi, Leptæna Cotentina, Strophomene Trigeri, Calceola Gervillei, Nautilus eximius, Buchiceras Tissoti, Hoplites gladiator, Aspidoceras faustum, Asp. hirsutum, Stephanoceras Freycineti, Acanthoceras sarthacense, Perisphinctes Mosensis, Hoplites Tethydis, Arietites Douvillei, Grammoceras fallaciosum, Ludwigia Simon, Waagenia propinquans, Turrilites quadrituberculatus, Hippopodium Guibali, Crassinella vicinalis, Diceras originale, Sphærulites Sæmanni, Sph. Boucheroni, Pinna Cadomensis, Ctenostreon Wrighti, Plagiostoma eximium, Alectryonia Potieri, A. Zeilleri, Ceratostreon Delaunayi, Rhynchostreon Chaperi, Ætostreon consobrinum, Lopha sarthacensis, Spatangus decipiens, S. Turonensis, soit 51 espèces nouvelles.

1878. Note relative au genre *Delphinulopsis* (*Journ. de conch.*, t. XXVI, p. 323).

1879. Liste rectificative de quelques noms de genres (*Journ. de conch.*, t. XXVII, p. 34) (genres Haaniceras, Lissoceras, Echioceras, Duncania, Inella, Opisocardium).

1880. Liste rectificative de quelques noms de genres (Magellania, Muhlfeldtia, Sycum, Macrochilina, Norrisia, Tritonium, Scobina) et d'espèces (30 espèces de Cerithium du Jurassique, de la Craie et du Tertiaire) (*Journ. de conch.*, t. XXVIII, p. 240).

NOTE

SUR UN ACCIDENT D'APPAREIL A VAPEUR

CAUSÉ PAR L'ENTARTREMENT RAPIDE D'UN TUYAU D'ALIMENTATION

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

Le 22 mai 1894, dans l'usine des Fontaines du service des eaux de la ville de Reims, un réchauffeur d'alimentation a donné lieu à un accident grave : la tête en fonte placée à l'avant de ce réchauffeur s'est brisée suivant la ligne circulaire des rivets la reliant à la partie cylindrique, et a été projetée dans la chambre de chauffe. Elle n'a été lancée qu'à $1^{m},70$ en avant de la façade ; mais elle est tombée sur le chauffeur, qui a été tué.

L'appareil était neuf : il avait été mis en service moins de sept semaines avant l'accident. Dans son ensemble, le système vaporisateur comprenait une chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs inférieurs, et deux réchauffeurs horizontaux, cylindriques, de $0^{m},80$ de diamètre et 12 mètres de longueur, placés latéralement à la chaudière et disposés l'un au-dessus de l'autre. Le tout cubait $4^{m3},196$, offrait une surface de chauffe de 150^{m2} et était timbré à 7 kilogrammes. La pression habituelle était 6 kilogrammes.

L'eau d'alimentation, sous l'action d'une pompe solidaire de la machine motrice de l'usine, parcourait d'abord d'arrière en avant le réchauffeur du bas, puis d'avant en arrière celui du haut, et de là se rendait à la chaudière

proprement dite par une conduite de $0^{m},08$ de diamètre, qui, après avoir pénétré par le haut dans le corps cylindrique, s'y bifurquait en deux branches aboutissant dans les bouilleurs.

C'est le réchauffeur supérieur dont la tête en fonte a cédé le 22 mai. Il a été reconnu après l'accident :

1° Que la cassure circulaire de la tête en fonte était fraîche et saine ;

2° Que le robinet d'aspiration de la pompe alimentaire était ouvert en grand ;

3° Que la chaudière proprement dite, au lieu de s'être librement vidée par la plaie béante du réchauffeur avarié, était restée sous pression, de telle sorte qu'une heure et demie après l'accident le manomètre marquait encore $3^{kg},5$, et qu'il ne sortait, par le réchauffeur ouvert, qu'un faible écoulement d'eau et un léger nuage de vapeur.

Comme la conduite allant du réchauffeur supérieur à la chaudière ne portait pas de clapet de retenue, il résultait évidemment de là qu'elle était à peu près totalement bouchée, et dès lors la cause de l'accident apparaissait clairement : les coups de piston de la pompe alimentaire avaient, en raison de cette obstruction, élevé la pression hydraulique à l'intérieur des réchauffeurs, jusqu'à rompre l'un d'eux suivant sa ligne de moindre résistance.

En démontant cette conduite, M. l'Ingénieur des Mines Henriot a vérifié que la partie verticale pénétrant dans le corps principal de la chaudière, au-dessus de la bifurcation, était intérieurement tapissée d'un dépôt stratifié qui avait progressivement étranglé la section libre du tuyau, jusqu'à la réduire à environ un quart de centimètre carré ; en outre, au point le plus resserré de l'étranglement, se trouvaient deux petits débris de minium, provenant vraisemblablement de l'un des joints de la conduite ; l'un de ces débris était empâté dans le dépôt, l'autre était mobile et susceptible de venir compléter l'obstruction.

Opérant le même démontage sur une chaudière voisine, qui n'avait que quinze jours de fonctionnement, M. Henriot a constaté que la section libre du tuyau analogue s'y trouvait déjà réduite de moitié par le dépôt : le diamètre, primitivement égal à 80 millimètres, ne valait plus que 57 millimètres.

On répara le réchauffeur avarié et, comme on supposait que la rapidité de l'entartrement avait pu tenir à la disposition de la fourche, qui plongeait au bas des bouilleurs et rampait même à proximité de leur génératrice inférieure, on coupa le tuyau d'alimentation de manière à supprimer complètement la fourche et à faire déboucher ce tuyau verticalement dans le corps cylindrique, à $0^m,20$ au-dessus de sa génératrice inférieure. Au bout de cinq semaines de marche, on reconnut que la communication entre les réchauffeurs et la chaudière était de nouveau fortement troublée : un manomètre, installé sur le réchauffeur supérieur, accusait $1^{kg},5$ de variation de pression à chaque coup de piston de la pompe alimentaire : démontant la conduite, on trouva la section libre réduite à moins de 1 centimètre de diamètre au lieu de 8.

On fit de nouvelles tentatives de fonctionnement, en raccourcissant encore le tuyau alimentaire, de manière à l'arrêter à $0^m,30$, puis à $0^m,40$ de distance de la génératrice inférieure du corps principal : le même phénomène se reproduisit.

C'est donc bien par précipitation dans le tuyau même que les dépôts se formaient. Quelle était la cause de leur extrême rapidité?

L'eau employée à l'alimentation était loin de contenir une quantité exceptionnellement forte de matières incrustantes. Elle donnait à l'évaporation un résidu fixe de $0^{gr},2082$ par litre, ainsi composé :

Carbonate de chaux	$0^{gr},1726$
Carbonate de magnésie	0 ,0086
Sulfate de chaux	0 ,0093
Chlorure de sodium	0 ,0120
Azotate de soude	traces sensibles
Silice	0 ,0057
	$0^{gr},2082$

Mais c'est en raison de la succession des températures auxquelles elle se trouvait soumise, que cette eau déposait avec abondance son carbonate de chaux *précisément dans le tuyau alimentaire, là où ce tuyau plongeait dans le corps principal du générateur.*

En effet, un échantillon de l'eau en question, enfermé dans un tube de verre scellé à la lampe et chauffé progressivement de 100 à 160°, a commencé à montrer vers 140° un dépôt blanc de carbonate de chaux, dont l'importance est allée en augmentant avec la température (*).

D'autre part, ayant disposé un thermomètre sur la conduite allant du réchauffeur à la chaudière, en avant du point d'insertion de cette conduite sur le corps principal, M. Hemriot a relevé des températures qui variaient suivant que l'alimentation fonctionnait ou était arrêtée depuis plus ou moins longtemps, et dont les maxima et minima ont été :

LORS DES OUVERTURES DE L'ALIMENTATION		LORS DES FERMETURES DE L'ALIMENTATION	
heure	température	heure	température
7^h30^m	123°	8^h30^m	108°
9.30	134	10.30	124
14.30	134	12.30	116
1.30	134	2.30	117
3.30	133	4.30	113

(*) Cette constatation et l'analyse précédente ont été faites par le Laboratoire de l'Ecole nationale supérieure des Mines. Il en est de même de l'analyse du dépôt, dont il sera parlé plus bas.

Le thermomètre, de 0m,40 de longueur, était enfermé dans un étui métallique de 1 centimètre de diamètre, appliqué le long de la génératrice supérieure du tuyau d'alimentation, et entouré de chiffons de laine. Il est probable que les températures de l'eau elle-même étaient un peu supérieures aux nombres du tableau ci-dessus, et s'approchaient sensiblement de 140°, tout en restant inférieures à cette valeur.

Arrivée dans la partie de la conduite qui plongeait dans le corps de chaudière, et que baignaient des fluides à 164° (température de vapeur correspondant à la pression de 6 kilogrammes), l'eau se trouvait très rapidement portée à plus de 140°, et le carbonate de chaux se précipitait. L'analyse du dépôt formé dans la conduite a montré que ce dépôt se composait pour 98 p. 100 environ de carbonate de chaux (97,86 dans un échantillon renfermant 0,25 p. 100 d'eau hygrométrique).

L'extrême rapidité de l'entartrement de cette partie de conduite s'explique donc, avec une entière netteté, comme conséquence très simple de la solubilité du bicarbonate de chaux et de sa transformation, par la chaleur, en carbonate insoluble.

Cet exemple montre combien il importe, dans l'établissement d'un projet de chaudière, de s'attacher à prévoir dans quelles parties de l'appareil, eu égard aux proportions des surfaces de chauffe et à la nature des eaux, se feront les précipitations de sels dissous et les dépôts divers auxquels sera exposé le générateur.

NOTE

SUR UN

AUTO-CAPTEUR

OU APPAREIL

Servant à effectuer automatiquement, de façon continue, des prises d'air grisouteux ou de gaz quelconques,

Par M. P. PETIT, Ingénieur en chef
de la Société anonyme des Houillères de Saint-Étienne.

Les grisoumètres, ou appareils portatifs servant à doser sur place, dans la mine, le grisou qui se dégage des chantiers, ont été, depuis quelques années, l'objet de perfectionnements importants : la lampe Chesneau, beaucoup plus sûre que ses devancières, permet de déceler la présence, dans l'atmosphère, de quelques millièmes de grisou. Bien que la sagacité des inventeurs se soit fortement exercée sur ce sujet, la découverte d'un appareil enregistrant automatiquement, dans la mine, la quantité de gaz renfermée dans l'air des chantiers, reste à faire. Tous les dispositifs proposés manquent de simplicité, de sûreté ou de sensibilité.

Si on met en jeu les propriétés explosives du grisou, on risque de créer, par une semblable pratique, des dangers permanents d'un ordre supérieur à celui qu'on veut éviter ; si on utilise la légèreté spécifique de ce gaz, comme dans le *forménophone Hardy*, par exemple, les résultats sont entachés d'erreur, ainsi que l'a démontré M. Rateau, professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne, par la présence, en quantité variable, de gaz

étranger accompagnant toujours le grisou dans l'air des mines.

On comprend néanmoins l'intérêt qui s'attacherait à la connaissance exacte et continue de la teneur en grisou d'un chantier spécial, ou de l'ensemble des travaux souterrains. Une fois en possession de très nombreuses observations, on pourrait : étudier les relations qui existent entre le dégagement du gaz et la variation des phases du travail, piquage, chargement, arrêt du déhouillement, — analyser l'influence de la section d'abatage pour un tonnage constant, et, inversement, celle du tonnage pour une section identique, etc.

En construisant l'appareil qui fait l'objet de cette note, j'ai eu pour but de reconstituer en quelque sorte, à la fin de chaque jour, par le tracé de la courbe de la teneur, l'histoire de tel ou tel chantier délicat, dont la mise en œuvre rejette dans le courant d'air des quantités importantes de grisou, — de saisir l'*effet* d'une façon ininterrompue pour remonter aux *causes* et essayer de dégager les lois bien peu connues qui président à l'expansion du gaz renfermé dans la houille.

Ainsi que son nom l'indique, mon appareil n'est point un grisoumètre, mais un *échantillonneur :* il capte automatiquement, et presque sans discontinuité, l'air grisouteux de la mine, en effectuant des prises d'une durée réglable à volonté, qu'on analyse au laboratoire, par la méthode des limites d'inflammabilité.

PRINCIPE DE L'APPAREIL.

Le principe de cet appareil est le suivant :

Imaginons deux vases (A, B) superposés (*fig.* 1), dont le premier est fermé et rempli d'un liquide quelconque, d'eau

par exemple, et dont le second est ouvert et vide. Ces récipients sont raccordés par deux tubulures (T, T') munies chacune d'un robinet (R, R'); l'une d'elles T sert à l'écoulement progressif de l'eau renfermée en A dans le vase inférieur (B); l'autre (T') sert à l'adduction, dans la capacité laissée libre par le liquide de A, du gaz (grisou, air grisouteux, etc.) qu'on veut capter, et dans lequel plonge librement le vase B. — Si on donne aux récipients superposés des dimensions relatives convenables, le liquide atteindra la tranche supérieure (*mn*) de la tubulure T, au moment où, par suite de son élévation dans B, il obstruera l'orifice inférieur de la tubulure T'. — On aura opéré de la sorte, en une *durée* réglable à volonté, dépendant du degré d'ouverture du robinet R, ainsi que de la hauteur de charge motrice, une prise de gaz d'un volume déterminé V.

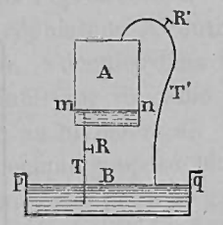


Fig. 1.

Le croquis schématique montre que, lorsque l'écoulement de l'eau s'arrête, toute altération dans la prise de gaz effectuée, sous réserve de l'étanchéité parfaite de R, R', est impossible, puisqu'elle est fermée hydrauliquement.

Pour réaliser un appareil permettant de pratiquer *automatiquement* (1, 2, 3, ..., *n*) prises de même volume, opérées chacune dans le même temps, on a recours à la disposition suivante.

Deux vases (A, B) (*fig.* 2), l'un tronconique, l'autre cylindrique, sont réunis à leur base par une tubulure munie d'un robinet d'écoulement (R_e) et d'un robinet de vidange (R_v); le premier qu'on remplit d'eau, par exemple, est fermé et ne communique avec l'atmosphère que par un tube capillaire K, garni de coton; le second est vide et ouvert par le haut.

Une série d'éprouvettes (1, 2, 3, ..., *n*) placées en cas-

cade, sont reliées, d'une part, au récipient A par les tubes $t_1, t_2, \ldots, t_n$, d'autre part au vase B par les tubes $T_1, T_2, \ldots, T_n$; au sommet et à la base de chaque éprouvette sont placés sur les tubes des robinets $r_1 r_1$, ..., $r_2 r_2$, ..., $r_n r_n$.

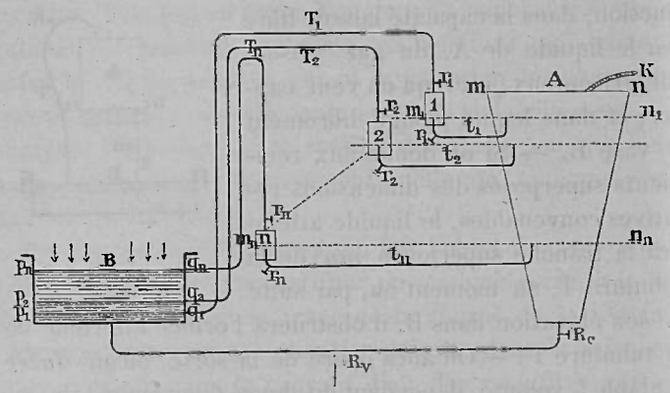


FIG. 2.

Les tubes $t_1, t_2, \ldots, t_n$ servent à l'écoulement de l'eau contenue dans les éprouvettes 1, 2, 3, ..., n, dans la *clepsydre régulatrice* A; ils sont à dessein recourbés en **U**. Les tubes $T_1, T_2, \ldots, T_n$, qui débouchent dans le vase B à des hauteurs variables en partant du fond, servent à l'*aspiration* de l'air grisouteux ou d'un gaz quelconque.

Les éprouvettes sont placées à des hauteurs telles que la tranche supérieure de l'une quelconque d'entre elles soit au même niveau que le plan des orifices du tube en **U** de la précédente : ainsi, l'éprouvette n° 2 a son couvercle dans le plan horizontal $m_1 n_1$ des orifices du tube t_1 d'écoulement d'eau de l'éprouvette n° 1.

Cette description permet de comprendre aisément le fonctionnement de l'appareil. Le robinet R_c étant fermé, et les robinets $r_1, r_2, \ldots, r_n$ étant ouverts, on remplit d'eau, par exemple, à l'aide d'un entonnoir se fixant sur la clepsydre, les éprouvettes 1, 2, 3, ..., n, et les tubes

$(t_1, t_2, \ldots, t_n)$ $(T_1, T_2, \ldots, T_n)$, jusqu'à hauteur de la tranche supérieure de A.

On ouvre alors le robinet d'écoulement R_c, dont la section de passage est déterminée pour des prises d'une durée donnée ; le volume d'eau contenu dans l'éprouvette $n°$ 1, augmenté de celui que renferme le régulateur A entre les deux plans horizontaux mn, $m_1 n_1$, s'écoule dans le vase B et vient obstruer l'orifice inférieur du tube à air T_1, à l'instant où le liquide arrive au niveau $m_1 n_1$.

On a ainsi, comme dans le cas théorique supposé plus haut (*fig.* 1), réalisé, en un temps donné, une prise de gaz d'un volume donné, avec obstruction hydraulique à la base et au sommet de l'éprouvette.

Dès que le niveau de l'eau s'est abaissé dans le régulateur en-dessous du plan $m_1 n_1$, le flacon $n°$ 2 commence à se vider à son tour, et les mêmes phénomènes de captage, accompagnés d'une fermeture automatique, se reproduisent jusqu'à la dernière éprouvette de la série.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Éprouvettes. — Les éprouvettes ont la forme de cylindres de hauteur *aussi faible* que possible, de manière à ce que la vitesse d'écoulement, pendant la durée de la prise, reste sensiblement uniforme, et ne soit point trop influencée par la variation de la charge motrice.

On pourrait faire usage du vase de Mariotte : mais la différence entre les vitesses d'écoulement, initiale et finale, est si faible qu'on peut, sans grand inconvénient, conserver aux éprouvettes la forme qui leur a été donnée.

Le volume de gaz capté par chacune d'elles est constant et s'élève à 250 centimètres cubes, dans l'appareil représenté par les *fig.* 1 à 5 de la Planche VII.

La durée de la prise est *uniformément* égale à *une heure ;* pour faire varier la période, il suffit d'accroître ou de diminuer la section d'ouverture du robinet R_e.

Clepsydre. — La forme tronconique de la clepsydre A est imposée par la condition, à laquelle on s'est proposé de satisfaire, d'effectuer des prises de même capacité en des temps égaux : au fur et à mesure que la charge motrice sur le robinet d'écoulement s'abaisse, le volume de liquide qu'on lui donne à débiter va en diminuant.

Aspirateur. — L'aspirateur B est d'un diamètre plus grand et d'une hauteur plus faible que la clepsydre, pour que la contre-pression, due à l'élévation progressive du liquide dans ce vase, ne ralentisse pas trop l'écoulement.

Tubes. — Le diamètre des tubes à liquide (t_1, t_2, ..., t_n) peut être quelconque ; celui des tubes à gaz (T_1, T_2,..., T_n) devra, de préférence, être très petit, de façon à réduire les espaces nuisibles et à ne point trop fausser la prise faite pendant l'heure n, par le gaz pur qui aurait pu se loger dans son tube (T_n) pendant l'heure $n - 1$.

CONSTRUCTION DE L'APPAREIL.

En réalité, l'appareil n'a point la forme qu'indique le croquis *fig.* 2 : on a cherché, pour des raisons dictées par la pratique des mines, à réduire au minimum son degré d'encombrement.

Les éprouvettes (1, 2, 3, ..., n) sont disposées suivant un arc d'hélice (Pl. VII, *fig.* 1, 2, 3) ; la clepsydre occupe le centre de l'*auto-capteur*, et repose sur un socle placé au milieu de l'aspirateur.

Tous les récipients sont constitués par des vases en zinc de $0^{mm},8$ d'épaisseur. Les éprouvettes ont un diamètre tel qu'elles peuvent s'introduire facilement, pour l'analyse,

dans le manchon de l'appareil Lebreton. On les étage en les plaçant sur des supports en tôle mince fixés, au moyen de vis de pression, sur les colonnettes de l'ossature. Ces flacons métalliques ont l'avantage de pouvoir, sans risque de rupture, être commodément transportés, de la mine au laboratoire, dans des boîtes en bois munies de compartiments et cadenassées au départ.

Les tubes de raccordement sont en cuivre : les tubes à liquide ont $0^m,005$ de diamètre extérieur et $0^m,004$ de diamètre intérieur ; les tubes à gaz ont $0^m,002$ d'épaisseur et $0^m,002$ de diamètre intérieur.

Des pointeaux, enfoncés à bloc par le serrage d'écrous, assurent l'étanchéité de la liaison des tubes avec les tubulures des robinets et permettent la substitution *rapide* des éprouvettes vides aux éprouvettes pleines du gaz capté.

L'ossature, sur laquelle se fixent les flacons métalliques, est très légère (Pl. VII, *fig.* 4, 5), formée de tringles verticales, entretoisées, réunies à leur sommet par une couronne et, à leur base, par un plateau en tôle mince sur lequel repose l'appareil. Les tringles sont assemblées à vis à ce plateau, afin de faciliter, en cas de réparations, le décoiffage de la clepsydre et de l'aspirateur.

Un couvercle à deux portes constitué par une toile métallique légère, à mailles serrées, mobile autour d'un diamètre, protège les tubes et les robinets contre la chute possible de débris charbonneux ou rocheux, se détachant du toit de la galerie. Une poignée permet de transporter l'appareil qu'on met en place, après l'avoir soigneusement fixé de niveau, au moyen d'un tirefond vissé dans le boisage.

Le poids total de l'*auto-capteur* est de $12^{kg},260$, dont $7^{kg},060$ pour la cuirasse, et $5^{kg},200$ pour les éprouvettes, la clepsydre et le vase aspirateur. Le type figuré sur la Pl. VII a $0^m,45$ de diamètre et $0^m,300$ de hauteur.

Le coût de cet appareil, muni de six éprouvettes, est d'environ 100 francs.

CONCLUSIONS.

En avril 1895, nous avons installé un *auto-capteur* au puits du Treuil n° 2 de notre Société, dans un chantier en traçage, balayé par un courant d'air d'*intensité constante* et creusé dans la couche, qui nous a donné des dégagements instantanés.

Cet appareil a été placé, à dessein, le plus près possible du front du chantier, dans un milieu extrêmement poussiéreux, parcouru par un courant animé d'une vitesse de 5 mètres à la seconde. Je désirais, avant de donner la description de l'*auto-capteur*, vérifier s'il s'accommoderait pratiquement d'un tel régime. Grâce à la précaution prise de le décrasser une fois par semaine, les réparations effectuées durant sept mois de service ont été à peu près nulles, et ont consisté uniquement dans le soudage d'un tube à eau.

L'étanchéité des robinets $(r_1, r_2, \ldots, r_n)$, contrôlée avec soin, a été reconnue aussi parfaite qu'à la mise en marche. Si on conservait quelques inquiétudes à cet égard, il serait d'ailleurs facile de coiffer chaque éprouvette$(1, 2, 3, \ldots, n)$ d'un petit cône soudé à son couvercle et rempli d'eau.

Actuellement, toutes nos mines, à l'exception d'une seule, sont munies d'un appareil de ce genre.

Nous avons commencé une série de recherches et le tracé journalier de courbes de teneurs, qui promettent d'être fort intéressantes. Nous annexons, à titre d'indication, Pl. VII, *fig.* 6, un diagramme montrant la variation de la quantité de grisou dégagé dans un chantier en traçage, du mardi 20 mai 1895 au jeudi 22 mai. Les parties hachurées indiquent la teneur pendant l'abatage et le chargement ; les parties non hachurées se rapportent

aux périodes de cessation complète du piquage de la houille. J'espère pouvoir présenter un jour le résultat de mes études sur la question du dégagement du grisou, mais le problème apparaît tellement complexe que je me garderai de formuler aucune conclusion avant d'avoir fait ample moisson de documents et coordonné les résultats de nombreuses et patientes observations.

Saint-Étienne, le 26 novembre 1895.

BULLETIN

RÉSUMÉ STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA FRANCE PENDANT LES ANNÉES 1870 A 1894

Par M. SOL, Chef de bureau au Ministère des Travaux Publics.

I. — Combustibles.

1° PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX ET DE LA TOURBE.

ANNÉES	HOUILLE ET ANTHRACITE			LIGNITE			TOURBE		
	Poids	Valeur	Pr.m.	Poids	Valeur	Pr.m.	Poids	Valeur	Pr. m.
	tonnes	francs	fr. c.	tonnes	francs	fr. c.	tonnes	francs	fr. c.
1870 (*)	13.000.926	152.431.641	11,72	329.382	3.346.132	10,16	319.678	3.290.219	10,29
1871	12.910.957	160.681.91	12,52	347.963	3.533.998	10,16	327.271	3.406.094	10,41
1872	15.359.195	208.446.357	13,57	443.319	4.312.116	9,73	324.323	3.563.222	10,99
1873	16.974.236	284.488.642	16,76	505.105	5.879.157	11,64	324.092	3.711.459	11,45
1874	16.428.626	273.543.053	16,65	479.287	5.874.340	12,26	323.198	3.665.476	11,34
1875	16.504.635	264.900.545	16,05	452.205	5.300.640	11,72	317.748	3.657 653	11,51
1876	16.635.853	257.252.025	15,46	465.595	4.960.079	10,65	333.110	4.373.017	13,12
1877	16.305.827	231.229.136	14,19	498.702	5.007.025	10,04	310.821	4.037.899	12,99
1878	16.440.650	223.022.372	13,56	520.266	5.277.816	10,14	296.241	3.650.555	12,32
1879	16.576.901	215.955.407	13,03	534.078	5.370.262	10,05	234.369	2.724.711	11.62
1880	18.804.767	241.275.197	12,83	556.797	5.411.946	9,72	248.122	2.754.839	11,10
1881	19.211.963	240.166.966	12,48	554.000	5.624.611	10,15	233.121	2.569.464	11,02
1882	20.046.796	249.210.833	12,43	556.908	5.411.672	9,72	216.633	2.506.411	11,56
1883	20.759.429	261.045.750	12,57	574.455	5.704.496	9,93	201.371	2.249.951	11,17
1884	19.537.120	241.484.289	12,36	496.394	5.331.256	10,74	196.691	2.101.892	10,69
1885	19.068.548	224.354.045	11,76	441.98.	4.541.516	10,28	190.196	1.962.559	10,32
1886	19.454.127	218.316.649	11,22	455.767	4.432.556	9,73	175.311	1.890.822	10,78
1887	20.809.982	221.979.540	10,67	477.607	4.392.489	9,20	204.798	2.494.07.	12,18
1888	22.172.029	229.128.898	10,33	430.865	3.866.497	8,97	159.658	1.756.137	11,00
1889	23.851.913	249.041.686	10,44	451.597	4.155.047	9,20	147.826	1.570.075	10,62
1890	25.591.545	306.826.055	11,99	491.573	4.586.450	9,33	157.701	1.711.586	10,85
1891	25.501.595	340.024.176	13,33	523.298	4.895.243	9,35	168.365	1.937.272	11,51
1892	25.697.233	320.193.829	12,46	481.468	4.483.325	9,31	168.445	1.971.257	11,70
1893	25.172.792	290.527.312	11,54	478.189	4.263.602	8,92	174.290	2.304.871	13,21
1894	26.964.125	303.738.545	11,26	452.780	4.021.603	8,88	131.717	1.783.030	13,54

(*) La production avait été, en 1869, de 13.140.483 tonnes de houille et d'anthracite, 323.722 tonnes de lignite et 328.764 tonnes de tourbe. Elle a nécessairement souffert de la guerre en 1870 et en 1871.

2° EXPLOITATION DES MINES DE COMBUSTIBLE (*houille, anthracite, lignite*).

ANNÉES	NOMBRE DES MINES		NOMBRE TOTAL des ouvriers	SALAIRE ANNUEL		SALAIRE JOURNALIER par ouvrier		PRODUCTION annuelle par ouvrier	RÉSULTATS FINANCIERS de l'exploitation (non compris les intérêts des capitaux)	
	concédées au 31 déc.	exploitées dans l'année		total	par ouvrier	du fond	du jour		Revenu net	Déficit
				francs	francs	fr. c.	fr. c.	tonnes	francs	francs
1870	627	315	82.673	72.274.618	874	?	?	161	20.560.000	?
1871	608(*)	307	83.649	73.674.945	881	?	?	159	26.513.000	?
1872	611	310	91.899	90.113.334	980	?	?	172	38.285.000	?
1873	612	322	103.513	107.541.614	1.049	?	?	166	47.253.000	?
1874	642	320	106.289	111.796.707	1.052	?	?	159	44.591.000	?
1875	613	328	108.712	115.042.731	1.058	?	?	156	38.483.000	?
1876	614	349	110.802	113.068.295	1.020	?	?	154	41.994.000	?
1877	619	358	108.907	106.144.341	975	?	?	154	30.425.000	?
1878	629	357	106.415	103.785.465	975	?	?	159	39.681.000	?
1879	628	342	102.472	101.110.378	987	?	?	167	37.690.237	6.074.330
1880	635	336	107.236	111.535.195	1.040	?	?	180	42.953.239	5.168.648
1881	636	321	106.410	112.208.582	1.055	4.12	2.68	186	38.893.313	6.718.380
1882	636	308	108.269	119.015.780	1.099	4.21	2.93	190	43.257.757	5.533.584
1883	635	315	113.003	127.171.169	1.125	4.15	3.00	189	42.807.180	6.343.065
1884	635	307	109.426	117.357.703	1.073	4.15	3.00	183	37.589.861	6.121.599
1885	636	298	101.616	105.858.762	1.042	4.06	2.86	192	41.358.699	4.705.315
1886	639	297	102.362	107.363.090	1.049	4.04	2.83	195	35.610.923	3.647.687
1887	639	311	103.163	110.127.923	1.067	4.06	2.92	206	37.841.218	3.732.577
1888	636	293	104.959	113.840.957	1.084	4.03	2.95	215	36.928.423	3.566.314
1889	638	289	110.949	124.379.796	1.120	4.18	3.11	219	38.124.116	4.165.100
1890	635	287	121.555	146.681.700	1.206	4.57	3.16	215	61.799.388	4.700.981
1891	635	296	131.832	158.493.654	1.203	4.62	3.14	197	65.016.321	5.039.650
1892	636	298	133.193	162.673.457	1.221	4.68	3.19	197	46.577.152	7.279.738
1893	636	298	132.644	152.076.624	1.146	4.59	3.15	193	34.502.718	8.903.434
1894	634	312	134.557	158.974.308	1.181	4.57	3.15	204	35.952.510	9.847.439

(*) 16 concessions ont disparu avec la perte de l'Alsace-Lorraine.

Nota. — Les renseignements sur les salaires ne comprennent pas les avantages accessoires dont profite l'ouvrier, tels que le chauffage gratuit ou à prix réduits, le loyer à bon marché, les retraites, secours, etc. Il est bon de rappeler d'ailleurs que le personnel ouvrier se compose non seulement d'hommes faits, mais de jeunes gens, de femmes et d'enfants. Ce personnel se divisait de la manière suivante en 1894:

	A l'intérieur.	A l'extérieur.	Total.
Hommes	86.400	27.600	114.000
Jeunes gens de 16 à 18 ans	5.500	2.500	8.000
Femmes	»	3.700	3.700
Enfants de 13 à 16 ans	4.500	4.400	8.900
Totaux	96.400	38.200	134.600

3° ÉLÉMENTS DE LA CONSOMMATION DU CHARBON MINÉRAL (*houille, anthracite et lignite*) EN FRANCE.

ANNÉES	PRODUCTION (y compris les variations du stock)	EXPORTATION totale (*)	IMPORTATIONS (*) de Belgique	IMPORTATIONS (*) d'Angleterre	IMPORTATIONS (*) d'Allemagne	IMPORTATIONS (*) totales (**)	CONSOMMATION Poids	CONSOMMATION Valeur	CONSOMMATION Prix moyen
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	fr. c.
1870	13.179.790	304.910	3.829.520	1.893.320	321.070	6.045.160	18.830.040	435.190.100	23,11
1871	13.240.130	329.270	3.388.190	1.909.490	201.300	5.949.560	18.860.420	448.295.000	23,77
1872	16.100.770	576.680	5.108.410	2.086.450	509.540	7.709.240	23.233.330	663.997.100	28,58
1873	17.368.390	604.670	4.908.190	2.346.990	769.100	8.028.660	24.702.380	786.361.000	31,83
1874	16.734.110	747.050	4.368.850	2.239.560	823.510	7.433.170	23.417.330	663.319.400	28,33
1875	17.046.800	671.580	4.659.300	2.646.480	1.015.160	8.289.220	24.657.530	651.882.500	26,56
1876	16.978.100	726.700	4.192.800	2.987.400	1.039.500	8.220.700	24.472.100	607.394.000	24,82
1877	16.877.200	614.300	3.874.600	2.867.000	1.136.700	7.881.600	24.144.500	552.018.500	22,87
1878	16.948.300	504.200	4.363.900	2.794.000	1.040.700	8.201.300	24.555.300	544.835.500	22,19
1879	16.989.300	539.000	4.820.100	3.012.400	1.047.400	8.881.800	25.332.100	553.179.000	21,84
1880	19.507.700	603.300	5.276.700	3.404.200	1.259.200	9.941.100	28.846.800	627.239.800	21,74
1881	19.824.400	601.000	5.496.000	3.568.800	1.256.400	10.221.500	29.444.900	636.991.000	21,61
1882	20.614.200	457.500	5.570.400	3.881.200	1.408.300	10.867.900	31.024.600	666.132.300	21,47
1883	21.242.000	509.800	5.756.300	4.367.800	1.577.400	11.707.100	32.439.300	681.782.900	21,02
1884	19.703.500	500.100	5.733.000	4.259.000	1.678.400	11.678.000	30.941.400	649.830.900	21,00
1885	19.023.800	505.700	5.320.700	4.079.100	1.511.400	10.916.700	30.094.800	627.576.300	20,89
1886	19.847.900	609.660	5.086.300	3.921.200	1.367.900	10.380.900	29.619.200	586.017.000	19,79
1887	21.220.700	504.800	5.243.700	4.045.800	1.271.800	10.504.800	31.190.700	612.780.300	19,65
1888	22.751.900	629.400	5.103.800	4.107.600	1.346.300	10.551.300	32.673.800	624.714.100	19,12
1889	24.472.900	943.200	5.035.500	3.839.700	1.104.100	9.981.300	33.511.000	682.911.800	20,38
1890	25.991.000	941.400	5.340.600	4.864.600	1.393.800	11.602.900	35.632.500	815.900.800	22,54
1891	25.788.400	906.100	5.279.500	4.863.000	1.544.000	11.690.400	36.572.700	710.440.800	21,64
1892	25.854.300	895.600	4.807.300	4.897.000	1.820.200	11.557.300	36.516.900	741.186.500	20,38
1893	25.876.800	898.400	4.888.600	4.434.000	2.037.100	11.400.700	36.379.100	728.692.100	20,03
1894	27.157.300	800.900	4.556.100	4.843.300	2.230.400	11.644.000	38.000.400	742.253.100	19,53

(*) D'après la douane française, commerce spécial.
(**) Y compris les importations de provenances diverses, non comprises dans les chiffres précédents.
Nota. — Le coke est compté dans ce tableau à raison d'une tonne et demie de houille par tonne de coke.

Consommation de la tourbe.

L'administration des douanes fournit, depuis 1892 seulement, des indications sur le commerce extérieur de la tourbe. Les importations, qui étaient de 12.500 tonnes en 1892, se sont élevées à 57.800 tonnes en 1893, à la faveur du manque de litière végétale ; elles sont redescendues à 39.000 tonnes en 1894 et à 24.300 en 1895. Les exportations sont à peu près nulles. Pour la production, voir le tableau n° I.

(*La suite à une prochaine livraison.*)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA SUÈDE POUR L'ANNÉE 1894.

La statistique de l'industrie minérale pour l'année 1894 fournit les renseignements suivants sur la production des mines et des usines métallurgiques :

I. — Minerais.

	Production en 1894. Tonnes.	Différence par rapport à 1893. Tonnes.
Minerai de fer en roche	1.926.523	+ 445.036
Minerai d'argent et de plomb	14.825	— 6.218
Minerai de cuivre (*)	25.710	+ 3.677
Minerai de zinc	47.029	+ 406
Minerai de manganèse	3.359	— 3.702
Pyrite de fer	656	+ 176

Les minerais de lac et de marais, montant à 689 tonnes, ne sont pas compris dans les chiffres précités. L'ensemble de la production du minerai de fer s'est donc élevé à 1.927.212 tonnes.

(*) En partie aurifère et argentifère.

II. — Usines à fer.

	Production en 1894. Tonnes.	Différence par rapport à 1893. Tonnes.
Fonte	462.809	+ 9.388
Massiaux et fers bruts en barres	204.517	— 21.015
Lingots de Bessemer	83.296	— 1.083
Lingots de Martin	81.714	+ 1.893
Lingots de fusion au creuset	464	— 54
Fer et acier en barres	146.786	+ 744
Fer et acier en bandes ; verges, etc.	78.092	+ 7.264
Fil laminé en boucles (wire-rods)	25.764	— 8.054
Tôle grosse	10.850	+ 129

La production par haut-fourneau a été de 3.192 tonnes en moyenne, pour l'année.

Le charbon de bois est le seul combustible employé dans les hauts-fourneaux de la Suède ; c'est seulement dans des cas très rares, pour la fabrication du « Spiegel » par exemple, qu'on le mélange avec un peu de coke anglais.

III. — Métaux autres que le fer.

	Production en 1894. Kilogrammes.	Différence par rapport à 1893. Kilogrammes.
Or	93,6	+ 0,2
Argent	2.869,5	— 1.595,1
Plomb	330.363	— 141.645
Cuivre	349.899	— 194.009

IV. — Houille.

Les mines de charbon exploitées sont situées exclusivement dans la province la plus méridionale du royaume, la Scanie. On en a extrait, en 1894, une quantité totale de 213.634 tonnes de houille, c'est-à-dire 13.701 tonnes de plus que l'année précédente.

L'exploitation de ces mines a fourni, en outre du charbon, 129.617 tonnes d'argile, soit 8.852 tonnes de moins que l'année antérieure.

V. — Autres substances diverses.

	Production en 1894. Kilogrammes.
Oxyde de cobalt	1.580
Soufre	36.000
Sulfate de cuivre	722.501
Sulfate de fer	361.918
Ocre rouge	1.563.731
Alun	261.009
Plombagine	105.630

Le nombre des ouvriers employés en 1894, à l'exploitation des mines et des usines a été de 25.452, soit 359 de moins qu'en 1893. Ces ouvriers se répartissent de la manière suivante :

	Personnel ouvrier				Totaux
	souterrainement		à la surface		
	Hommes	Enfants (au-dessous de 18 ans)	Hommes	Femmes et enfants (au-dessous de 18 ans)	
Mines de fer	3.933	137	2.544	948	7.562
Autres mines métallifères	774	48	686	298	1.806
Mines de charbon	1060	139	308	27	1.534
Usines à fer	»	»	12.841	1.014	13.855
Autres usines	»	»	646	49	695
Totaux	5.767	324	17.025	2.336	25.452

Le nombre des moteurs en activité, pendant l'année 1894, ainsi que la puissance motrice déclarée par les industriels font l'objet du tableau ci-après :

	MOTEURS EMPLOYÉS				TOTAUX	
	dans les mines		aux autres exploitations minérales			
	Nombre	Puissance en chevaux	Nombre	Puissance en chevaux	Nombre	Puissance en chevaux
Machines à vapeur	179	3.665	135	6.732	314	10.397
Moteurs à eau	177	3.054	1.054	43.698	(*)1.231	46.752
Autres moteurs	119	213	5	»	(**) 124	213
Totaux	475	6.932	1.194	50.430	1.669	57.362

La statistique des accidents signalés dans les mines et usines comprend le nombre total des tués ainsi que tous ceux des blessés qui, par suite des accidents, sont devenus invalides. Elle est résumée ci-dessous :

	NOMBRE des accidents	NOMBRE DES VICTIMES		
		Tués	Devenus invalides	Total
Dans les mines	33	14	22	36
Dans les usines	15	6	9	15
Total	48	20	31	51

Par comparaison avec l'année précédente, le nombre des accidents signalés a diminué de 1 et celui des victimes de 2 morts, tandis que les ouvriers blessés ont été du même nombre qu'en 1893.

(Extrait de la *Sveriges officiela Statistik*,)

(*) Pour 19 de ces moteurs, la puissance n'a pas été connue.
(**) Dont 116 manèges à colliers et autres moteurs sans puissance déclarée.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES 305 BIBLIOTHÈQUE

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1894 ET EN 1895 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS	NATURE DU COMBUSTIBLE	PRODUITS 1894	PRODUITS 1895
		tonnes	tonnes
Ain	Lignite	80	30
Allier	Houille	916.607	942.601
Alpes (Basses-)	Lignite	24.964	26.016
Alpes (Hautes-)	Anthracite	8.840	9.030
Ardèche	Houille et anthracite	46.156	44.280
Aveyron	Houille	960.459	936.674
	Lignite	2.970	3.549
Bouches-du-Rhône	Idem	377.609	359.973
Cantal	Houille	76.899	63.277
	Lignite	75	66
Corrèze	Houille	1.038	960
Côte-d'Or	Houille et anthracite	8.961	12.904
Creuse	Houille	200.722	203.082
Dordogne	Lignite	2.377	1.734
Drôme	Idem	606	147
Gard	Houille	2.013.805	1.936.633
	Lignite	22.567	21.700
Hérault	Houille et anthracite	151.101	208.103
	Lignite	232	222
Isère	Anthracite	158.901	199.365
	Lignite	881	660
Loire	Houille et anthracite	3.321.504	3.450.146
Loire (Haute-)	Houille	232.194	248.651
Loire-Inférieure	Anthracite	12.942	12.003
Lot	Houille	2.809	5.987
Maine-et-Loire	Anthracite	17.290	15.208
Mayenne	Idem	57.411	53.515
Nièvre	Houille	188.039	182.961
Nord	Houille et anthracite	4.983.000	5.184.748
Pas-de-Calais	Houille	10.633.151	11.092 027
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	294.087	309.334
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.595	1.645
Rhône	Houille	36.263	36.793
	Idem	225.144	235.666
Saône (Haute-)	Lignite	10.773	9.900
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.828.078	1.829.406
Sarthe	Anthracite	10.645	11.292
Savoie	Idem	14.874	9.933
Savoie (Haute-)	Idem	40	105
Sèvres (Deux-)	Houille	20.553	19.878
Tarn	Idem	515.942	534.605
Var	Lignite	3.035	4.169
Vaucluse	Idem	3.985	3.781
Vendée	Houille	26.670	22.789
Vosges	Lignite	972	1.099
Yonne	Idem	69	72
Récapitulation	Houille et anthracite	26.964.125	27.801.276
	Lignite	452.780	434.763
Totaux		27.416.905	28.236.039
Augmentation			819.134

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal Officiel* du 2 mars 1896. Les chiffres concernant l'année 1895 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mêmes et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1894, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

PRODUCTION PAR BASSIN.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS	PRODUITS 1894 tonnes	PRODUITS 1895 tonnes	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (*)	DÉPARTEMENTS OU LES BASSINS SONT SITUÉS	PRODUITS 1894 tonnes	PRODUITS 1895 tonnes
I. — Houille et Anthracite.						
Nord et Pas-de-Calais	15.616.151	16.276.745	Valenciennes	Pas-de-Calais, Nord	15.613.729	16.275.216
			Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais	2.422	1.529
Loire	3.363.662	3.492.815	Saint-Etienne (et Rive-de-Gier)	Loire, *Rhône*	3.321.340	3.450.146
			Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône	36.263	36.793
			Communay	Isère	5.895	5.876
			Le Rounnais (Roanne)	Loire, *Rhône*	164	»
			Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire	1.643.798	1.659.889
			Decize	Nièvre	188.039	182.961
Bourgogne et Nivernais	2.061.568	2.058.672	Epinac et Aubigny-la-Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	118.697	119.505
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	68.774	54.022
			Bert	Allier	36.490	33.401
			Sincey, *Forges*	Côte d'Or, *Saône-et-Loire*	5.770	8.894
Gard	2.059.961	1.980.913	Alais	Gard, Ardèche	2.019.691	1.940.650
			Aubenas	Ardèche	32.269	31.854
			Le Vigan	Gard	8.001	8.409
Tarn et Aveyron	1.479.210	1.476.666	Aubin	Aveyron	947.309	921.492
			Carmaux	Tarn	515.942	534.605
			Rodez	Aveyron	13.150	14.882
			Saint-Perdoux	Lot	2.809	5.987
Bourbonnais	1.097.710	1.119.950	Commentry (et Doyet)	Allier	832.943	852.082
			Saint-Eloy	Puy-de-Dôme	217.599	210.750
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier	47.174	57.118
			La Queune (*Fins et Noyant*)	*Allier*	»	»
Auvergne	385.581	410.512	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme	255.529	298.973
			Champagnac et Bourg-Lastic	Cantal, Puy-de-Dôme	108.898	93.327
			Langeac	Haute-Loire	21.154	18.212
Vosges méridionales	225.144	225.666	Ronchamp	Haute-Saône	225.144	225.666
			Le Drac (la Mure)	Isère	152.720	193.169
Alpes occidentales	176.760	242.557	Maurienne-Tarentaise et Briançon	Hautes-Alpes, Savoie	23.714	18.963
			Oisans et *le Grésivaudan*	Isère	286	320
			Chablais et Faucigny	Haute-Savoie	40	105
			Alun	Hérault	151.101	208.103
Creuse et Corrèze	201.760	204.042	Bourganeuf	Creuse	191.841	189.957
			Meymac et Argentat, Cublac (Terrasson)	Corrèze, *Dordogne*	8.881	13.125
			Le Maine	Mayenne, Sarthe	1.038	960
Ouest	145.511	131.635	Vouvant et Chantonnay	Deux-Sèvres, Vendée	68.056	64.807
			Basse-Loire	Loire-Inférieure, Maine-et-Loire	47.223	42.617
			Le Cotentin (*le Plessis*)	*Manche*	30.232	27.211
			Saint-Pierre-la-Cour	*Mayenne*	»	»
Les Maures	»	»	*Les Maures* (*Fréjus*)	*Var, Alpes-Maritimes*	»	»
Les Pyrénées	»	»	*Ibantelly, Durban et Ségure*	*Basses-Pyrénées, Aude*	»	»
Totaux pour les houilles	26.964.125	27.801.276			26.964.125	27.801.276
II. — Lignite.						
Provence	405.668	390.158	Fuveau (Aix)	Bouches-du-Rhône, *Var*	378.829	363.947
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*	24.964	26.016
			La Cadière	Var	1.815	195
			Bagnols, Orange, *Banc-Rouge, Vaguas*	Gard, Vaucluse, *Ardèche*	22.805	21.793
Comtat	26.239	25.112	Barjac et *Celas*	Gard	2.094	2.107
			Méthamis	Vaucluse	1.340	1.212
			Montoulieu	*Hérault*	»	»
Vosges méridionales	11.735	10.999	Gouhenans, *Gémonval*	Haute-Saône	10.763	9.900
			Norroy	Vosges	972	1.099
			Millau et Trévezel	Aveyron, Gard	3.283	3.918
			Le Sarladais	Dordogne	2.377	1.734
Sud-Ouest	7.562	7.585	Estavar, *Larquier, Orignac, St-Lon*	Pyrénées-Orientales, *Landes, Hautes-Pyrénées*	1.595	1.645
			La Caunette	Hérault, *Aude*	232	222
			Murat	Cantal	75	66
			La Tour-du-Pin	Isère	881	660
Haut-Rhône	1.567	837	Hauterives, *Montélimar*	Drôme	606	147
			Vercia, *Douvres*	Jura, *Ain*	80	30
			Entrevernes et Chambéry	*Haute-Savoie, Savoie*	»	»
Yonne	69	72	Joigny	Yonne	69	72
Totaux pour lignites	452.780	434.763			452.780	434.763
Totaux généraux	27.416.905	28.236.039			27.416.905	28.236.039

(*) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées, et les départements correspondants, ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION de la fonte suivant la nature du combustible	1894 — Fontes d'affinage	1894 — Fontes de moulage et moulée en 1re fusion	1894 — Production totale	1895 — Fontes d'affinage	1895 — Fontes de moulage et moulée en 1re fusion	1895 — Production totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	28.507	7.826	36.333	20.485	7.175	27.660
Ardèche	Au coke	8.164	1.707	9.871	13.929	302	14.231
Ariège	Au coke	13.861	336	14.197	9.116	»	9.116
Aveyron	Au coke	11.135	306	11.441	11.181	»	11.181
Bouches-du-Rhône	Au coke	8.702	3.719	12.421	10.314	»	10.314
Cher	Mixte	»	10.725	10.725	»	9.543	9.543
Dordogne	Au bois	400	110	510	100	300	400
Gard	Au coke	50.876	3.520	54.396	29.233	11.597	40.830
Isère	Au coke	24.475	607	25.082	27.251	20	27.271
Landes	Au coke	55.232	4.880	63.171	55.039	4.520	62.209
	Au bois	1.287	1.772		904	1.746	
Loire	Au coke	20.714	733	21.447	19.916	1	19.917
Loire-Inférieure	Au coke	23.454	6.427	29.881	25.689	9.582	35.271
Lot-et-Garonne	Au coke	529	14.815	15.344	331	12.280	12.611
Marne (Haute-)	Au coke	32.779	27.639	62.932	31.902	24.306	59.986
	Au bois	782	22		1.356	19	
	Mixte	»	1.710		»	2.403	
Meurthe-et-Moselle	Au coke	913.916	374.340	1.288.256	877.065	401.457	1.278.522
Nord	Au coke	224.116	»	224.116	187.804	»	187.804
Pas-de-Calais	Au coke	76.097	»	76.097	75.710	»	75.710
Pyrénées-Orientales	Au bois	2.227	»	2.227	2.021	»	2.021
Rhône	Au coke	12.591	2.712	15.303	12.365	2.187	14.552
Saône (Haute-)	Au bois	720	17	737	1.707	27	1.734
Saône-et-Loire	Au coke	86.807	2.859	89.687	99.109	»	99.109
[illegible]	Au coke	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.256	5.802
[illegible]	Au bois	5.416	1.921	7.337	6.088	2.092	8.180
	Mixte	»	12.435	12.435	»	11.946	11.946
Totaux		1.600.113	469.601	2.069.714	1.516.168	489.721	2.005.889
Augmentation					»	20.120	»
Diminutions					83.945	»	63.825

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1894 — Rails	1894 — Fers marchands et spéciaux	1894 — Tôles	1894 — Production totale	1895 — Rails	1895 — Fers marchands et spéciaux	1895 — Tôles	1895 — Production totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Réchauffage de vieux fers	»	»	197	197	»	119	145	264
Allier	Puddlage	154	19.959	7.892	29.225	124	15.613	6.950	24.033
	Affinage au charbon de bois	»	1.220	»		»	1.346	»	
Ardennes	Puddlage	»	53.827	12.135	87.923	»	43.499	11.995	85.877
	Affinage au charbon de bois	»	»	»		»	39	»	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	19.560	2.401		»	22.584	1.760	
Ariège	Puddlage	»	5.393	»	11.530	»	7.603	»	9.596
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	6.137	»		»	1.993	»	
Aube	Puddlage	»	4.024	»	5.041	»	3.348	»	4.874
	Affinage au charbon de bois	»	256	»		»	329	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	761	»		»	1.197	»	
Aveyron	Puddlage	243	5.985	355	10.093	58	4.538	359	7.934
	Réchauffage de vieux fers et riblons	262	2.706	542		13	2.429	537	
Bouches-du-Rhône	Puddlage	»	»	»	724	»	117	»	945
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	724	»		»	828	»	
Côte-d'Or	Puddlage	»	3.820	800	5.965	»	3.435	660	5.641
	Affinage au charbon de bois	»	362	»		»	666	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	983	»		»	880	»	
Côtes-du-Nord	Réchauffage de vieux fers	»	»	»	»	»	1.991	»	1.991
Dordogne	Puddlage	»	300	»	2.770	»	300	»	1.553
	Affinage au charbon de bois	»	1.250	»		»	758	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.220	»		»	495	»	

PRODUCTION DES FERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1894 RAILS	1894 FERS marchands et spéciaux	1894 TÔLES	1894 PRODUCTION totale	1895 RAILS	1895 FERS marchands et spéciaux	1895 TÔLES	1895 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Doubs	Puddlage	»	»	»		»	1.888	»	
	Affinage au charbon de bois	»	1.925	904	7.192	»	1.963	935	6.215
	Réchauffage de vieux fers	»	3.818	545		»	1.054	375	
Eure	Réchauffage de vieux fers	»	4.199	»	4.199	»	4.056	»	4.056
Gard	Puddlage	25	8.240	»	8.265	»	5.329	»	5.329
Garonne (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.806	»	2.806	»	3.057	»	3.057
Ille-et-Vilaine	Réchauffage de vieux fers	»	85	»	85	»	90	»	90
Isère	Puddlage	»	68	»	3.730	»	34	»	3.809
	Réchauffage de vieux fers	»	3.662	»		»	3.775	»	
Jura	Puddlage	»	12.649	3.345	17.886	»	12.730	3.149	17.401
	Affinage au charbon de bois	»	139	»		»	132	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.328	425		»	1.040	350	
Landes	Puddlage	»	259	»	2.719	»	258	»	1.730
	Affinage au charbon de bois	»	850	»		»	829	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.610	»		»	643	»	
Loire	Puddlage	»	18.394	7.831	35.285	»	13.472	7.035	29.914
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	9.060	»		»	9.327	80	
Loire-Inférieure	Puddlage	»	2.735	279	9.850	»	1.380	265	10.173
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	6.836	»		»	8.528	»	
Lot-et-Garonne	Puddlage	»	16	»	16	»	14	»	14
Marne (Haute-)	Puddlage	»	57.741	4.058	69.734	»	48.529	3.609	62.883
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	7.829	106		»	10.468	277	
Meurthe-et-Moselle	Puddlage	»	41.388	6.190	49.521	»	41.455	5.690	48.350
	Réchauffage de vieux fers	»	1.943	»		»	1.205	»	
Meuse	Puddlage	»	7.858	»	8.608	»	5.356	»	6.056
	Réchauffage de vieux fers	»	750	»		»	700	»	
Nièvre	Puddlage	»	4.257	»	9.461	»	4.741	54	7.844
	Affinage au charbon de bois	»	1.065	89		»	480	215	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.050	»		»	2.347	7	
Nord	Puddlage	»	239.263	43.218	282.481	232	233.432	36.197	269.861
Oise	Puddlage	»	11.179	2.646	14.011	»	12.137	2.660	15.152
Pyrénées-Orientales	Affinage au charbon de bois (foyers catalans)	»	119	»	149	»	107	»	124
	Réchauffage de vieux fers	»	29	»		»	17	»	
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Puddlage	»	»	»	460	»	50	»	470
	Affinage au charbon de bois	»	460	»		»	210	210	
Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	94	»	94	»	1.197	»	1.197
Saône (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	3	187	190	»	2	188	190
Saône-et-Loire	Puddlage	»	44.352	4.584	71.116	»	63.428	3.735	67.163
	Affinage au charbon de bois	»	»	2		»	»	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	22.176	2		»	»	»	
Sarthe	Affinage au charbon de bois	»	29	»	29	»	27	»	27
Savoie	Puddlage	»	»	»	44	»	14	»	32
	Affinage au charbon de bois	»	44	»		»	21	»	
Savoie (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	91	»	2.770	»	»	»	1.870
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.870	809		»	1.358	512	
Seine	Réchauffage de vieux fers	»	22.936	»	22.936	»	28.687	»	28.687
Seine-Inférieure	Réchauffage de vieux fers	»	62	»	62	»	83	»	83
Seine-et-Oise	Réchauffage de vieux fers	»	2.914	»	2.914	»	3.439	»	3.439
Somme	Puddlage	»	830	»	3.150	»	760	»	2.756
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.320	»		»	1.996	»	
Tarn	Puddlage	»	1.168	»	2.471	»	2.146	»	2.607
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.303	»		»	461	»	
Vosges	Affinage au charbon de bois	»	»	50	50	»	60	295	355
Yonne	Réchauffage de vieux fers	»	16	»	16	»	12	»	12

RÉCAPITULATION.

Fer	Puddlé	422	543.689	93.333	637.444	414	531.603	82.367	614.384
	Affiné au charbon de bois	»	7.858	1.418	9.276	»	6.942	2.189	9.131
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	262	133.772	5.027	139.061	13	116.100	4.043	120.156
	Totaux	684	685.319	99.778	785.781	427	654.645	88.599	743.671
	Diminutions					257	30.674	11.179	42.110

OBSERVATION. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1894 — PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS — Rails	Aciers marchands	Tôles	PRODUCTION totale	PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin	1895 — PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS — Rails	Aciers marchands	Tôles	PRODUCTION totale	PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1.023	1.023	»	»	»	671	671	»
	Fusion au four Siemens-Martin	80	12.742	5.153		28.700	»	17.000	3.467		28.466
Allier	Puddlage	»	70	»	18.615	»	»	30	»	20.957	»
	Cémentation	»	40	»		»	»	30	»		»
	Fusion au creuset	»	530	»		»	»	430	»		»
Ardennes	Fusion au foyer Bessemer	»	11.402	8.106		2.435	»	20.698	8.738		4.570
	Fusion au four Siemens-Martin	»	182	7.573		9.140	»	199	7.950		4.563
	Cémentation	»	4	»	27.443	»	»	2	2	38.696	»
	Fusion au creuset	»	176	»		»	»	239	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	173	695		»
Ariège	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.502	»		3.374	»	5.714	»		6.285
	Puddlage	»	593	»		»	»	690	»		»
	Cémentation	»	6	»	3.129	»	»	70	»	6.575	»
	Fusion au creuset	»	12	»		»	»	101	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	16	»		»	»	»	»		»
Aube	Fusion au foyer Bessemer	»	2.605	»	2.605	»	»	2.040	»	2.040	»
Aveyron	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	»	»	»	57	3.420	106	3.583	5.090
Bouches-d.-Rhône	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	»	»	»	»	320	»	320	»
Charente	Fusion au foyer Bessemer	»	288	»	288	»	»	175	»	175	»
Côte-d'Or	Fusion au foyer Bessemer	»	3.870	»		»	»	100	»		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	660		»	»	79	417		»
	Puddlage	»	»	»	4.670	»	»	5.055	9	5.813	»
	Cémentation	»	78	»		»	»	91	3		»
	Fusion au creuset	»	60	2		»	»	53	6		»
Doubs	Fusion au foyer Bessemer	»	5.215	»	11.563	»	»	3.300	»	8.503	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.327	3.021		4.396	»	2.702	2.501		3.175
Gard	Fusion au foyer Bessemer	19.645	34	»	29.376	23.023	16.668	77	»	32.754	20.731
	Fusion au four Siemens-Martin	161	9.508	»		12.025	155	15.758	»		17.617
	Réchauffage de vieil acier	»	28	»		»	»	96	»		»
Indre-et-Loire	Cémentation	»	45	»	45	»	»	»	»	»	»

Isère	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.775	»	4.320	6.672	»	3.000	»	4.935	4.247
	Puddlage	»	982	»		»	»	1.043	»		»
	Cémentation	»	189	»		»	»	245	»		»
	Fusion au creuset	»	374	»		»	»	647	»		»
Jura	Fusion au foyer Bessemer	»	9.473	»	14.679	»	»	8.000	»	13.906	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.732	3.474		5.875	»	2.323	3.583		4.541
Landes	Fusion au foyer Bessemer	24.867	9.657	»	40.965	39.580	25.847	7.794	»	40.585	36.557
	Fusion au four Siemens-Martin	»	5.741	»		7.274	»	6.944	»		8.532
Loire	Fusion au foyer Bessemer	»	1.445	»		»	»	»	»		»
	Fusion au four Siemens-Martin	229	31.029	14.007		51.746	100	28.155	18.290		63.446
	Puddlage, affinage au charbon de bois	»	2.329	»	62.524	»	»	1.731	»	60.480	»
	Cémentation	»	694	»		»	»	586	»		»
	Fusion au creuset	»	7.327	125		»	»	6.982	140		»
	Réchauffage de vieil acier	»	4.859	480		»	»	3.713	783		»
Loire-Inférieure	Fusion au foyer Bessemer	5.495	3.545	933	21.496	13.688	10.468	160	460	29.093	12.065
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.932	7.591		18.276	»	6.203	11.802		24.827
Marne (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	7.745	1.002	21.483	100	»	8.142	996	23.822	426
	Fusion au four Siemens-Martin	»	12.736	»		13.318	»	14.684	»		13.822
Meurthe-et-Moselle	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	53.054	43.567	4.901	113.411	228.282	38.822	88.097	5.036	142.681	252.539
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.110	5.191		14.710	»	2.105	6.988		12.542
	Puddlage	»	940	330		»	»	985	343		»
	Fusion au creuset	»	20	»		»	»	»	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	2.997	301		»	»	»	305		»
Meuse	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	»	874	»	5.594	»	»	1.805	»	6.328	»
	Fusion au four Siemens Martin	»	4.720	»		5.089	»	4.523	»		4.917
Morbihan	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	10.454	10.454	16.776	»	»	12.264	12.264	15.146
Nièvre	Fusion au four Siemens-Martin	35	14.861	1.240	16.913	17.983	25	12.180	800	13.724	14.658
	Puddlage	»	70	»		»	»	60	»		»
	Fusion au creuset	»	707	»		»	»	659	»		»
Nord	Fusion au foyer Bessemer	34.446	28.819	7.798	118.671	80.495	31.984	14.056	10.039	88.610	65.380
	Fusion au four Siemens-Martin	»	16.541	30.757		73.181	»	8.258	23.303		42.791
	Puddlage	»	»	»		»	»	620	»		»
	Fusion au creuset	»	310	»		»	»	350	»		»
Oise	Fusion au foyer Bessemer	»	17.115	»	21.089	»	»	17.763	»	30.121	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	843	3.131		4.649	»	1.263	11.093		13.784
Pas-de-Calais	Fusion au foyer Bessemer	39.600	5.913	»	45.513	56.265	28.197	11.082	»	39.279	50.316
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.282	»	3.282	4.192	»	3.030	»	3.030	4.810
Rhône	Fusion au four Siemens-Martin	»	64	»	64	»	»	41	»	41	47
Saône (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1.430	1.430	»	»	»	970	1.430	»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	»	460		»
Saône-et-Loire	Fusion au foyer Bessemer	4.898	13.414	21.384	64.705	45.289	8.094	22.158	21.979	75.995	50.447
	Fusion au four Siemens-Martin	»	15.169	9.840		31.607	»	10.900	12.864		32.617
Savoie	Fusion au four Siemens-Martin	»	88	»	88	»	»	113	»	113	»
Savoie (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	418	»	418	»	»	»	»	343	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	»		»	»	»	343		»

PRODUCTION DES ACIERS (*Suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1894 — PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS — Rails	1894 — Aciers marchands	1894 — Tôles	1894 — Production totale	1894 — PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin	1895 — PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS — Rails	1895 — Aciers marchands	1895 — Tôles	1895 — Production totale	1895 — PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Seine	Fusion au foyer Bessemer	»	2.338	»			»	1.887	»		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.828	»	4.248	»	»	2.285	»	422	»
	Cémentation	»	3	»		»	»	3	»		»
Sèvres (Deux-)	Fusion au creuset	»	79	»		»	»	46	»		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	60	»	60	60	»	»	»	»	»
	Puddlage	»	1.614	»		»	»	1.382	»		»
Tarn	Cémentation	»	179	»	3.069	»	»	206	»	2.903	»
	Fusion au creuset	»	1.276	»		»	»	1.315	»		»
Vosges	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1657	1.657	»	»	»	2.940	2.940	»

RÉCAPITULATION.

Acier	Fondu au foyer Bessemer	182.005	107.737	48.234	337.976	489.157	160.080	207.650	51.829	419.565	488.461
	Fondu au four Siemens-Martin	505	145.772	102.092	248.369	329.043	337	150.879	111.771	266.987	330.493
	Puddlé et de forge	»	6.698	330	6.958	»	»	11.596	352	11.948	»
	Cémenté	»	1.238	»	1.238	»	»	1.233	5	1.238	»
	Fondu au creuset	»	10.811	127	10.968	»	»	10.822	146	10.968	»
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	7.900	781	8.681	»	»	3.982	2.243	6.225	»
Totaux		182.510	340.116	154.564	674.190	818.200	160.417	386.166	170.346	716.931	818.954
Diminution							22.093	»	»	»	»
Augmentations							»	46.052	18.782	42.741	754

La production des lingots ne correspond pas exactement à celle des aciers ouvrés Bessemer et Martin, car il y a lieu de tenir compte des variations du stock.

LES MINES D'OR
DE L'AUSTRALIE
(PROVINCE DE VICTORIA)
ET LE GITE D'ARGENT DE BROKEN HILL (NOUVELLE-GALLES DU SUD)

Par M. L. BABU, Ingénieur des mines.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MINES D'AUSTRALIE.

Importance de l'industrie minérale en Australie. — La découverte de l'or en Australie fut faite seulement en mai 1851 dans la Nouvelle-Galles du Sud. On trouvait ensuite ce métal successivement dans la province de Victoria, puis dans le Queensland et en Nouvelle-Zélande. Depuis cette époque, les recherches se sont multipliées, et, outre les mines d'or que les prospections ont signalées et qui ont été exploitées en une multitude de points, des gites importants de cuivre, de plomb, d'argent, ont été découverts, et le plus souvent mis en valeur avec succès. Bien que l'étendue des régions connues soit encore peu considérable, l'Australie possède donc déjà de nombreuses exploitations minières ; les plus importantes sont les mines de houille, les mines d'or et les mines d'argent.

Charbon. — Le bassin houiller de la Nouvelle-Galles du Sud qui s'étend du 29e au 36e parallèle, couvre plus de 62.000 kilomètres carrés. Les deux grands centres

d'exploitation, Newcastle et Wolongong, sont comparables à nos grands centres houillers européens, et le port de Newcastle, avec ses immenses wharfs munis de grues hydrauliques, est aménagé pour embarquer facilement par jour 25.000 tonnes de charbon.

On trouve dans les houillères des exemples remarquables de la suppression systématique de la main-d'œuvre et des manipulations onéreuses : dans les chantiers, l'air comprimé actionne des perforatrices et des haveuses ; dans les galeries, des câbles du système dit *tail rope* remorquent les convois de berlines, à grande vitesse, même dans des courbes raides ; au jour, les wagons, chargés aux puits, vont immédiatement sur les wharfs, et là, enlevés par les grues hydrauliques, sont directement déversés dans la cale des navires.

En 1891, la production annuelle du bassin houiller de la Nouvelle-Galles du Sud dépassait 5 millions de tonnes.

Or. — Bien plus importante est l'industrie de l'or. C'est à elle qu'est dû le développement rapide de certaines régions et, en particulier, de la province de Victoria. Là, toutes les villes de l'intérieur sont des centres miniers ; Ballarat, Bendigo, Castlemaine, Maryborough, etc., d'abord exclusivement créées pour l'industrie des mines, sont devenues, plus tard, en même temps, des centres agricoles et industriels importants. Peut-être le développement des mines d'or de l'Australie de l'Ouest aura-t-il également pour effet de donner une population fixe à des régions encore à peu près inconnues et désertes.

Les autres provinces, le Queensland, la Nouvelle-Galles du Sud, la Tasmanie, possèdent également de nombreuses mines d'or. Je citerai, par exemple, dans le Queensland, la fameuse mine de Mount-Morgan, assurément constituée par un des plus merveilleux gisements d'or qui aient jamais été trouvés. L'énorme *reef* de 200 mètres de long sur 100 mètres de large permettait, en 1892, une extraction de 74.000 tonnes de minerai. Le rendement était de 3.770 kilogrammes d'or, et la teneur moyenne, de 51 grammes par tonne. Il n'est pas sans intérêt de rappeler que les minerais de ce gîte, formés d'une sorte de tuf siliceux et ferrugineux hydraté, n'ont pu être avantageusement traités par amalgamation ou par chloruration, que lorsqu'on a eu l'idée de les calciner pour en faire partir l'eau.

Pour montrer l'importance des mines d'or, il suffit de dire que le Service des Mines estime à 2.900 tonnes d'or environ la production totale de toutes les mines d'Australie de 1851 à 1894, et la valeur de cet or est supérieure à 9 milliards de francs. L'industrie de l'or continue, d'ailleurs, à être en pleine activité ; les chiffres officiels pour 1892 accusent une production de 55.935 kilogrammes, valant plus de 160 millions ; et, en 1894, la production a atteint 68.440 kilogrammes, représentant plus de 207 millions de francs.

Argent. — Dans la Nouvelle-Galles du Sud, à quelques centaines de kilomètres au nord-est de la ville d'Adélaïde, les gîtes d'argent des *Barrier Ranges*, quoique relativement moins importants, ne sont pas moins célèbres. Je citerai, entre autres, les mines de Broken Hill, où la production a été supérieure même à celle du filon de Comstock, dans l'État de Nevada aux États-Unis.

En 1892, la seule mine *Broken Hill Proprietary* produisait 403 tonnes d'argent ; et, si l'on ajoute à la valeur ainsi créée celle des plombs et autres métaux produits dans les mines voisines, on trouve que la valeur des métaux extraits des *Barrier Ranges* pendant cette année est de plus de 50 millions de francs. Bien que créée en 1885 seulement, cette mine avait d'ailleurs extrait, en 1892, c'est-à-dire en moins de 7 années, 984.000 tonnes

de minerai donnant 1.132 tonnes d'argent et 152.000 tonnes de plomb.

Conditions économiques. — Grèves. — Salaires. — Bien qu'un développement si rapide de l'industrie minière soit extrêmement remarquable, on pouvait cependant, par suite de la richesse et de la multiplicité des gîtes, espérer des résultats encore meilleurs ; mais l'Australie se trouve dans des conditions assez mauvaises au point de vue économique.

C'est aux difficultés croissantes dans l'emploi de la main-d'œuvre et au manque de débouchés qu'il faut attribuer la crise qui sévit actuellement sur les mines de houille. La crise est telle que plus de la moitié des Sociétés ont suspendu leurs travaux, et que, dans les mines encore en activité, le travail est réduit à 4 ou à 3 jours par semaine. La grande grève récente des charbonnages, qui a duré plusieurs mois, a eu, en effet, pour conséquence de faire passer au Japon la clientèle des ports du Pacifique et de l'océan Indien, et les mines ne trouvent plus de débouchés, malgré un abaissement de prix qui met actuellement à moins de 8 fr. 75 la tonne de charbon, rendue à bord des navires à Newcastle ou à Wolongong.

A propos des conflits qui ont eu lieu entre les ouvriers et les mines, il est intéressant de rappeler l'histoire des grèves de Broken Hill. En 1889, à la suite d'une grève de dix jours, les Sociétés de mines étaient tenues de reconnaître l'existence d'une *fédération* composée de plusieurs *unions*, à la tête desquelles se trouvait l' « *Amalgamated Miner's Association* ». C'était désormais avec les délégués de la fédération que devaient traiter les Sociétés.

Mais les ouvriers ne s'en tinrent pas là ; ils voulaient arriver à la fédération générale des unions de toutes les catégories de travailleurs, et, dès l'année suivante, une nouvelle grève résulta du refus des Sociétés d'affréter

pour leurs transports uniquement des navires ayant un équipage unioniste. La grève dura quatre semaines ; cependant, l'accord put s'établir, et les ouvriers eurent la sagesse d'accepter la séparation de l'Union des Mineurs de la région (*Barrier Ranges Miner's Union*) des Unions étrangères ; il était, en même temps, stipulé que les désaccords ultérieurs seraient réglés par arbitrage.

Dès 1892, l'arbitrage ne put aboutir. A la suite de la baisse du plomb et de l'argent, les Sociétés ayant cru bon d'introduire plusieurs modifications dans le régime de leurs exploitations et de procéder par marchandage pour le règlement des salaires, un grand meeting de 3.000 mineurs vota la grève immédiate de tous les travailleurs. Les mineurs supposaient que l'arrêt brusque et complet, en supprimant toutes les réparations au boisage, aurait pour effet d'amener dans les mines de nombreux éboulements. Ces prévisions ne se réalisèrent pas ; et si, d'un côté, les grévistes recevaient des subsides de toutes les Unions australiennes, de l'autre, ils avaient devant eux des directeurs bien décidés à ne pas admettre les prétentions de l'Union. Au bout de deux mois, protégés par un grand déploiement de force armée, quelques ouvriers revinrent à la mine ; mais les Unionistes tenaient bon, et les Sociétés durent se décider à engager des travailleurs à Sydney et à Melbourne. A l'arrivée du premier convoi à Broken Hill, il y eut un sanglant conflit, qui ne prit cependant pas de grandes proportions, par suite des précautions prises par les autorités. Celles-ci continuèrent, d'ailleurs, à montrer une rare énergie ; quelques jours après on arrêta les *leaders* des grévistes, sous la prévention d'avoir empêché des sujets de la Reine d'aller à leur travail et d'avoir provoqué des troubles et une sédition. Un mois après, le jugement était rendu, et le jury rapportait un verdict de culpabilité contre six des principaux meneurs, qui furent condamnés à la prison avec « *hard labour* », pour un

temps variant de 2 mois à 2 ans. Ce fut la fin de la grève.

Bien que la vie matérielle, sauf en ce qui concerne l'habillement, soit très peu chère, les salaires sont très élevés. Un mineur touche au moins 9 fr. 50 à 10 francs par jour sur les mines d'or de Victoria, et 12 fr. 50 à Broken Hill ; pour les ouvriers d'art, le salaire varie de 12 à 15 francs.

Presque toutes les mines australiennes ont dans leur histoire des grèves analogues à celle de Broken Hill. Cependant, malgré ces difficultés, malgré le taux élevé des salaires de la journée de 8 heures, on voit un grand nombre d'exploitations donner des bénéfices, tout en exploitant, à la profondeur de 1.000 mètres, des filons de quartz à teneur de 12 grammes d'or. Cela paraît surtout résulter du rendement très élevé de l'ouvrier australien.

Le plus grand danger qui menace toutes les exploitations régulières consiste dans les exodes en masse qui se produisent parmi les travailleurs, lorsque quelque nouvelle découverte, dans une région encore inexplorée, amène ces fièvres de l'or qui sévissent périodiquement sur les pays aurifères. C'est ainsi que, récemment, dans un *rush* formidable, des milliers d'hommes se sont dirigés sur Coolgardie, dans l'Australie de l'Ouest. De nouvelles découvertes de l'or sont, d'ailleurs, toujours probables ; les régions connues sont relativement peu grandes, et il existe d'immenses espaces qui n'ont jamais été explorés (*fig.* 1, Pl. VIII). Seule, la province de Victoria est à peu près entièrement explorée, et cependant on y découvre chaque jour de nouveaux districts aurifères. De même, au nord-ouest de Victoria, dans les Barrier Ranges traversés pour la première fois par Sturt, en 1844, la présence de riches mines d'argent ne fut guère signalée qu'en 1880 ; et c'est seulement en 1883 que fut découvert l'énorme affleurement du chapeau de fer du gîte de Broken Hill.

Développement des mines d'or dans la province de Victoria. — Jusqu'à présent, au point de vue de la continuité dans la production de l'or, la province de Victoria est la plus intéressante à considérer. Les districts aurifères y sont nombreux, et on estime que plus du tiers de la superficie du pays peut être considéré comme terrain aurifère. Aussi presque partout où se rencontrent des alluvions superficielles, le sol a-t-il été fouillé par les prospecteurs, et, en une multitude de points, des chevalements jalonnent les lignes des *reefs* ou bien le cours des rivières tertiaires. Cependant deux régions sont particulièrement intéressantes dans la province de Victoria : la région de *Ballarat* et celle de *Bendigo*. Chacune d'elles est comparable à une région similaire en Amérique ; la première, avec ses *deep leads*, ou alluvions tertiaires recouvertes de basaltes, rappelle *Grass-Valley ;* la seconde, avec ses nombreux filons, peut être rapprochée de *Yuba*.

Ballarat et Bendigo datent de la même époque ; en 1851, partout s'étendait le *bush*, la brousse, dominée par les grands Eucalyptus, et les premiers prospecteurs qui établirent leurs tentes sur le *creek Yarrowee* — qui sépare maintenant les deux cantons de Ballarat — ne rencontrèrent partout qu'une vaste solitude. Depuis longtemps déjà Ballarat compte plus de 40.000 habitants, et les rues sont formées de magnifiques avenues plantées d'arbres que bordent des villas ou des cottages servant d'habitation aux ouvriers des mines.

Dès l'origine, il a fallu se préoccuper de l'amenée de l'eau, tant pour les besoins des habitants que pour les moulins. Là, en effet, comme presque partout en Australie, l'eau faisait défaut, et les premiers venus à Ballarat se rappellent le temps où l'eau se vendait plus d'un schilling le gallon. Il en a d'ailleurs été de même sur tous les centres miniers, non seulement dans Victoria, mais aussi dans la Nouvelle-Galles du Sud, dans l'Australie du Sud ; et, à

l'époque actuelle, les districts aurifères de l'Australie de l'Ouest, Coolgardie par exemple, sont encore plus mal partagés. Des sommes considérables, s'élevant à plus de 10 millions, furent dépensées pour la construction de barrages et d'aqueducs d'amenée, et maintenant les réservoirs de la forêt de Bullarock contiennent une réserve d'environ 3 millions de mètres cubes d'eau qui suffit amplement à tous les besoins industriels et agricoles de la région de Ballarat.

D'abord les placers superficiels furent seuls exploités, au *pan*, au *craddle* et à la *puddling machine;* le manque d'eau ne permettait pas l'usage du *long tom*. Puis, les mineurs ne tardèrent pas à reconnaître la richesse des alluvions profondes pour l'exploitation desquelles se formèrent un grand nombre d'associations.

Peut-être ne sera-t-il pas sans intérêt de rappeler ici la manière dont fut constituée à l'origine la propriété minière de ces alluvions profondes, d'après ce qu'on appelait le « *frontage system* ». Lorsqu'un gîte formé d'alluvions recouvertes, un *lead*, était découvert, les concessions étaient définies uniquement par des longueurs comptées sur la direction du *lead*. Mais, le cours du *lead* étant irrégulier et incertain, les concessions ne pouvaient être immédiatement tracées sur le terrain, et, par suite, le mineur recevait simplement le droit de se placer à son tour, par ordre d'inscription, sur la direction inconnue du *lead*. Chaque concession était donc comprise entre deux cercles concentriques ayant pour centre le lieu de la découverte, et pour différence de rayon la longueur de la concession. De là l'expression de faire du *shepherdage* (vivre en berger), pour qualifier l'attente du concessionnaire, qui ne faisait aucun travail jusqu'à ce que, de proche en proche, à partir du centre, on ait suivi le *lead* et tracé son cours jusqu'aux limites de son terrain. On peut prévoir quelles difficultés soulevait l'application de cette législation, lorsqu'on rencontrait — ce qui est le cas général — un système de *leads* se croisant et se ramifiant; et, en fait, on dut bientôt renoncer au « *frontage system* ».

C'est à la richesse des alluvions superficielles et des alluvions profondes qu'est dû le développement extrêmement rapide de l'industrie de l'or. La présence de ce métal avait été signalée en mai 1851, et, en 1852, la production de l'or s'élevait déjà à 71 tonnes, valant environ 250 millions de francs; en 1856, elle dépassait 93 tonnes, représentant plus de 300 millions. Depuis cette époque, la production a été en diminuant, par suite de l'épuisement progressif des placers; mais, par contre, l'exploitation des filons se développe chaque jour. En 1893, sur une production totale de $20^{T},800$, dans la province de Victoria, les placers interviennent seulement pour $6^{T},780$ contre $14^{T},020$ résultant du traitement des quartz.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE DE LA PROVINCE DE VICTORIA.

Division des étages géologiques. — La chaîne de montagnes qui, du nord au sud, longe la côte Est de l'Australie, se replie vers l'ouest en arrivant dans la province de Victoria. Celle-ci se trouve ainsi divisée en deux versants : le versant nord alimente les rivières qui se jettent dans le Murray; le versant sud s'abaisse rapidement jusqu'à la côte du détroit de Bass.

L'ossature de la chaîne est formée par les terrains siluriens. Relevés par un immense pli anticlinal dont l'axe coïncide à peu près avec l'axe de la chaîne, les schistes de la période primaire présentent, au nord et au sud, des pendages inverses. Sur le versant nord ils disparaissent bientôt sous les terrains tertiaires de la vallée de la Murray; au sud, des affleurements de lambeaux de terrains secondaires semblent indiquer que le tertiaire ne repose

pas directement partout sur les schistes siluriens. Après s'être abaissés dans le pli synclinal du détroit de Bass, ceux-ci se relèvent pour constituer la plus grande partie de la Tasmanie.

Les terrains de la période primaire, et en particulier les étages siluriens, forment donc l'ossature de la colonie. On constate au milieu d'eux de nombreuses émergences de granite et de schistes cristallins. Il semble que la partie inférieure du dévonien manque; le silurien supérieur est directement surmonté par des couches équivalant au calcaire de l'Eifel. Puis, on suit la série des terrains jusqu'à l'époque permo-carbonifère; là une grande lacune se manifeste, on ne peut classer dans les terrains secondaires que quelques rares couches, et il faut remonter jusqu'au miocène pour trouver des termes largement représentés.

La série des formations de la province de Victoria peut, d'ailleurs, être établie comme il suit :

I. — Période primitive :
Schistes cristallins, granites.

II. — Ère primaire :

Période silurienne :
Silurien inférieur : *grès et schistes à Graptolites.*
Silurien supérieur : *grès, schistes et calcaires à Encrines.*

Période dévonienne :
Dévonien inférieur : *porphyres de Snowy.*
Dévonien moyen : *calcaire à Spirifères, schistes de Tabberabberra, quartzites de Cobannah.*
Dévonien supérieur : *grès des monts Grampians, grès et conglomérats de la rivière Avon (base du carbonifère).*

III. Ère secondaire :
Période triasique (?) : *grès de Bacchus Marsh (couches de Talchir dans l'Inde).*
Période oolithique (?) : *schistes et grès de la rivière Wannon, du cap Otway, de Western Point.*

IV. Ère tertiaire :
Période oligocène : argiles bleues ou grises.
Période miocène : calcaire sableux, sables ferrugineux, calcaire corallien, argiles à lignites, sables et graviers, basaltes (older volcanic).
Période pliocène : sables, graviers, conglomérats, laves (newer volcanic).

V. Ère récente :
Période quaternaire : argile, sable et limon.

MM. Selwyn et Murray, du Service de la Carte géologique d'Australie, ont publié des cartes et des notices géologiques de la province de Victoria. Je me bornerai à indiquer les grandes divisions qui résultent des travaux et des publications faites par ces géologues.

PÉRIODE PRIMITIVE.

Schistes cristallins. — Les géologues australiens attribuent la formation des schistes cristallins au métamorphisme des schistes du silurien inférieur; de là, le nom de schistes métamorphiques donné aux gneiss, talcschistes, quartzites, qui forment ces schistes cristallins. Ceux-ci ne seraient donc qu'un terme — et ce ne serait pas le terme extrême — du métamorphisme des dépôts primitivement à l'état d'argiles, de sables ou de graviers, sous l'action continue de la chaleur, de la pression, et surtout sous l'action des sources hydrothermales.

Les schistes cristallins se présentent de deux manières différentes : ou bien ils couvrent d'assez grandes étendues et sont dus à un métamorphisme régional; ou bien ils s'étendent seulement au voisinage du granite, à quelques centaines de mètres de celui-ci, et passent insensiblement des schistes cristallins aux schistes inaltérés. En Australie, on attribue ce dernier fait à un métamorphisme de contact.

Sur la carte géologique on constate deux grandes taches

de schistes métamorphiques, l'une située à l'ouest des monts Grampians, entre les rivières Wannon et Glenelg, l'autre au nord-est de la province, entre les rivières Ovens et Kiewa. Au premier point, ils entourent une masse de granite et sont surtout formés de quartzites, de schistes micacés, talqueux, chloritiques et serpentineux, et de schistes composés de feuillets d'argile et de quartz. Les grès siluriens supérieurs des monts Dundas les recouvrent en discordance de stratification. Ces schistes, assez peu étudiés, car on n'y a pas trouvé d'or en quantité exploitable, pourraient être rapportés à la période laurentienne.

Les schistes du nord, au contraire, renferment plusieurs districts aurifères, entre autres celui d'Oméo. Souvent ils ne sont recouverts par aucun dépôt, et leur étude a été faite avec soin. En allant de Mayford à Oméo, on observe une transformation graduelle et insensible des schistes : ce sont d'abord des schistes ordinaires, puis des schistes micacés, ensuite des micaschistes et, enfin, des gneiss. Le métamorphisme semble ne pas s'arrêter là ; aux gneiss succèdent des granites gneissiques, puis des granites possédant encore une structure schisteuse rudimentaire. En somme, on ne peut pas plus tracer de limite entre les granites et les gneiss qu'on ne peut en établir une entre les gneiss et les schistes.

En différents points, les schistes métamorphiques passent aux schistes à chiastolite, à des leptynites avec grenats, ou bien à des schistes amphiboliques. Ils sont, d'ailleurs, recoupés par des dykes de porphyres, de diorite, de diabase, etc.

Des caractères analogues s'observent dans les schistes métamorphiques du voisinage des granites et des trapps. Le métamorphisme, qui s'étend rarement au-delà de un kilomètre de ces roches, présente souvent les mêmes gradations insensibles ; quelquefois il se manifeste simplement par un changement dans la structure, qui, de schisteuse, devient noduleuse. Toutefois, si, en certains points, on ne peut assigner de limites entre le granite et les schistes métamorphiques, il en est d'autres où la limite est nette et tranchée ; c'est ainsi qu'à Maldon on voit le granite au contact immédiat des grès siluriens ; et, à Beechworth, une brèche formée de fragments de grès avec ciment siliceux surmonte sans transition le granite. Si ce n'étaient ces dernières observations, on voit qu'on pourrait être amené à considérer le granite comme le terme extrême du métamorphisme des schistes siluriens.

Granites. — Les pointements de granite ne se trouvent pas alignés suivant un axe défini ; ils forment des massifs isolés, qui paraissent sans relation avec la direction principale de la chaîne. Il semble cependant que les affleurements granitiques suivent de préférence les contreforts qui se détachent du nord au sud de la chaîne principale.

Généralement, le granite se présente en masses abruptes, parfois arrondies. Quelquefois, par suite de l'altération et de la disparition de certaines portions relativement tendres, des blocs énormes se trouvent supportés par une étroite surface et paraissent en équilibre instable. Ces blocs perchés constituent ce qu'on appelle des « *tors* ».

Les régions granitiques offrent un sol pauvre, où l'herbe pousse maigre malgré la culture ; c'est seulement en quelques points bien arrosés et où le climat est humide, qu'elles sont couvertes d'une végétation très dense, où les grands arbres se dressent au milieu de fourrés impénétrables.

Le granite de Victoria ne présente pas de caractères minéralogiques qui le distinguent des granites des autres pays. La variété la plus répandue est le granite à trois éléments, très riche en minéraux accessoires, tels que des grenats, des zircons, des topazes, des saphirs bleus et verts, et surtout de la cassitérite, de l'épidote, du spath-

fluor, de la pyrite. En certains points, on trouve aussi de la columbite et de la molybdénite. Ces granites semblent donc se rapprocher des granulites ou même des pegmato-granites. Bien qu'ils soient recoupés par un grand nombre de veines de quartz et de dykes de pegmatites à tourmaline, ils donnent cependant de magnifiques pierres à bâtir; c'est ainsi qu'à Melbourne un grand nombre de monuments publics ont été construits avec la syénite de l'île de Gabo.

A côté des granites, on rencontre une autre roche désignée sous le nom de trapp, à feldspath gris-verdâtre, d'apparence quelquefois porphyrique, elle est alors formée d'amphibole hornblende englobant des cristaux de feldspath et de quartz; quelquefois aussi elle présente une structure amygdaloïde. Ces trapps semblent présenter des variétés nombreuses; on les trouve désignés sous les noms de trapps feldspathiques. porphyres feldspathiques, porphyres granitoïdes et porphyres syénitiques. Dans tous les cas, la ligne de séparation entre les trapps et les granites est difficile à tracer; le granite passe insensiblement à l'une ou à l'autre des variétés de trapps, qui sembleraient ainsi simplement constituer des accidents du granite.

Soit au contact des granites, soit au contact des trapps, on constate, d'ailleurs, toujours un métamorphisme profond des schistes du commencement de la période silurienne.

ÈRE PRIMAIRE.

Période silurienne. — Les terrains de la période silurienne forment la majeure partie de la chaine de partage qui limite au sud le bassin de la rivière Murray. On leur attribue une épaisseur supérieure à 12.000 mètres. Au point de vue des mines d'or, ils présentent une très grande importance; non seulement ils constituent la roche encaissante des filons de quartz aurifère, mais ils s'étendent encore au-dessous des alluvions aurifères de la

région de l'ouest; c'est le *bed-rock* des placers de Ballarat, de Creswick, de Bendigo, de Daylesford, etc., et, c'est sur ce *bed-rock* qu'on trouve les graviers les plus riches et les plus grosses pépites.

A la base, les schistes qui alternent avec les grès présentent un caractère ardoisier bien net, qui diminue dans les assises supérieures. Partout les couches sont fortement plissées, et il en résulte une multitude de plis synclinaux et anticlinaux; mais, tandis que le pendage de ces plis est très voisin de la verticale (60 à 90°) pour le silurien inférieur, il diminue dans le silurien supérieur, où il varie de 45° à 80°.

Au point de vue lithologique, les *grès* et les *schistes* forment les terrains dominants; cependant, dans le silurien supérieur, plusieurs assises de *calcaire à encrines* affleurent dans la vallée de la Thomson. Quelquefois, on trouve des lits de quartzites durs; les conglomérats et les brèches sont rares.

Généralement la schistosité est parallèle à la stratification; mais, en bien des points, le plan de clivage des schistes fait avec le plan de la stratification un angle plus ou moins grand. De là sont nées des idées inexactes sur le mode de gisement de certains gites aurifères; on a pu croire que les veines métallifères recoupaient les strates lorsqu'on se trouvait simplement en présence de gites interstratifiés. Peut-être ces gites interstratifiés sont-ils plus fréquents qu'on ne l'a admis jusqu'à ce jour, du moins lorsqu'il s'agit de gites encaissés dans des schistes primaires. C'est le cas de la plupart des filons de Bendigo; il parait de même certain que le gite d'argent de Broken Hill, dans la Nouvelle-Galles du Sud, est également interstratifié.

On a divisé les terrains siluriens de la province de Victoria en deux étages : le *silurien inférieur* et le *silurien supérieur*.

Le *silurien inférieur*, formé de schistes et de grès avec quelques lits de quartzites, est caractérisé par les schistes à Graptolites ; il serait l'équivalent des couches nommées dans le pays de Galles *Llandeilo flags* et *Bala rocks*. Dans la région ouest, le silurien inférieur ne s'élève pas à l'altitude de 2.000 mètres ; la direction générale des plis est normale à la chaîne principale et parallèle au cours des principales rivières de la région. Dans l'est, le silurien inférieur est plus montagneux et s'élève plus haut ; il atteint 2.000 mètres aux monts Hotham et Feathertop, les deux points les plus élevés de la chaîne.

Le *silurien supérieur* serait, d'après M. Selwyn, en discordance de stratification avec le silurien inférieur. Cette discordance est considérée comme peu probable par M. Murray. La direction générale des strates varie du nord-nord-ouest au nord-est. Ces strates consistent surtout en grès et grès argileux avec des schistes grossiers ; quelquefois des conglomérats, des brèches et des quartzites sont interposés, et, en certains points, on constate des bancs de calcaire à Encrines.

On a assimilé les couches du silurien supérieur aux *schistes de Wenlock*, aux *grès de May* et aux *étages supérieurs de Luddlow*, en Angleterre.

Le silurien supérieur forme une grande partie de la ligne de crête et des versants de la chaîne de partage ; il donne souvent lieu à des pentes abruptes et à des falaises à pic. Lorsqu'il est recouvert de terre végétale, il supporte une très belle végétation, avec de grands Eucalyptus. Les prospections y sont donc extrêmement difficiles et pénibles, et c'est peut-être à cette seule raison qu'il faut attribuer le nombre relativement faible des filons de quartz exploités dans les étages du silurien supérieur.

Période dévonienne. — Entre le silurien et le tertiaire, les terrains primaires supérieurs et les terrains secondaires sont peu développés. C'est ainsi que le dévonien inférieur semble manquer comme assises sédimentaires et est seulement représenté par des porphyres. Au dévonien moyen appartiennent quelques affleurements de calcaires, de schistes et de quartzites ; quant au dévonien supérieur, il se confond avec les grès permo-carbonifères assez bien représentés.

Dévonien inférieur. — La coupe de la montagne Wombargo, entre les rivières Limestone et Snowy, indique les *porphyres de Snowy* comme faisant partie du dévonien inférieur, dont ils sont le seul terme (*fig.* 2, Pl. VIII).

Les géologues australiens estiment que ces porphyres sont le résultat d'une grande activité volcanique qui se serait manifestée pendant la période primaire. En réalité, ces roches sont des porphyres feldspathiques à éléments plus ou moins fins, passant quelquefois aux porphyres quartzifères. La pâte est toujours feldspathique, et les cristaux ou morceaux définis qu'elle renferme sont surtout des fragments de feldspath ou plutôt de roches feldspathiques, dont les dimensions atteignent quelquefois 1 mètre. En certains points, on constate des apparences de stratification.

Là où les porphyres affleurent, le sol est, en général, pauvre et dénudé, sauf au voisinage immédiat des sources et des rivières ; mais les nombreux *cañons* et les cascades successives des torrents rendent le pays extrêmement pittoresque.

Dévonien moyen. — Également très peu développé dans la province de Victoria, le dévonien moyen s'accuse seulement par quelques lentilles de calcaire compact et de couleur foncée, bleu ou presque noir. On y rencontre de nombreux *Spirifères* et un poisson du genre *Asterolepis* (*Asterolepis ornata*). Ces calcaires, que les fossiles, tels

que *Spirifera lævicostata*, et d'autres des genres *Chonetes* et *Phragmoceras*, permettent de rapprocher des *calcaires de l'Eifel*, se rencontrent par exemple à Bindi et à Buchan.

On comprend également dans le dévonien moyen les *schistes de Tabberabberra* et les *quartzites de Cobannah*, où l'on trouve aussi le *Spirifera lævicostata*. Ces formations, qui surmontent directement le silurien, sont, comme lui, fortement ondulées, plissées et tourmentées; mais on constate nettement une discordance de stratification.

Dévonien supérieur. — On voit par là que les mouvements de l'écorce terrestre ont été très violents jusque vers la fin de l'ère primaire; au contraire, dans les temps postérieurs, tout mouvement violent semble avoir cessé; on ne trouve plus ni plis, ni ondulations dus à des efforts de compression. La croûte terrestre paraît à ce moment consolidée, et les formations postérieures indiquent ce long calme par leurs couches régulières et presque horizontales.

C'est ainsi que se présente le dévonien supérieur dans les deux grands affleurements où il a été reconnu. Dans l'ouest de la province, il forme les monts Dundas, Black, Grampians, Sierra et Victoria; dans l'est, il s'étend au nord du Gippsland, et, sans interruption, à travers la chaîne de partage, s'élève jusqu'à la ville de Mansfield.

Les monts Grampians ont donné leur nom à la première formation. Les « *Grampians sandstones* » consistent en grès massifs, sans aucune interposition d'argiles ni de schistes. Vers l'ouest, ils présentent un pendage assez faible; mais, vers l'est, ils s'interrompent brusquement et forment des falaises à pic, énormes, inaccessibles, qui montrent une épaisseur de grès de plus de 600 mètres.

Dans la région du Gippsland, les grès Grampians sont

remplacés par des alternances de grès et de conglomérats, avec quelques lits de schistes. C'est ce qu'on désigne sous le nom de « *Iguana-creek beds* », dont la partie supérieure est formée par les *grès de l'Avon* (*Avon sandstones*). Les schistes ont conservé quelques empreintes, parmi lesquelles figurent un *Cordaites*, des *Archæopteris* et le *Sphenopteris Iguanensis*, très voisin du *Sph. artemisiæfolia* du Northumberland (base du carbonifère).

ÈRE SECONDAIRE.

Au-dessus des couches de l'Avon, que la présence de *Lepidodendron* permet de rattacher au carbonifère, on constate une grande interruption dans la stratification. Par leur flore, qui comprend plusieurs empreintes de diverses variétés de *Gangamopteris*, les premières assises secondaires semblent être triasiques.

Ce sont, d'abord, les *grès de Bacchus Marsh*, souvent formés de conglomérats à leur base, qui affleurent entre les rivières Werribee et Lederberg, et que certains géologues ont rapprochés des *couches de Talchir*, dans l'Inde; puis, les assises de grès et de schistes, avec minces couches de charbon, de la *rivière Wannon*, du *cap Otway*, de *Western Point* et du *sud du Gippsland*.

Il est difficile de préciser l'époque à laquelle il convient de rattacher ces terrains ; d'après les empreintes de *Zamites* et de *Pecopteris*, ces grès à charbon se rapprocheraient de l'époque oolithique.

Le sol des terrains secondaires est très fertile et est recouvert d'une belle végétation.

Des quelques lambeaux secondaires qui subsistent, on peut conclure que, vers la fin de la période, il y a eu un grand soulèvement et que les couches récemment formées ont été soumises à d'énormes phénomènes d'érosion qui

les ont remaniées ; c'est à leurs dépens que se sont formés les étages tertiaires très développés dans la région.

ÈRE TERTIAIRE.

Les deux grands affleurements secondaires de Bacchus Marsh et du Sud du Gippsland, pas plus d'ailleurs que les étages dévoniens, n'ont été trouvés jusqu'à présent contenir de l'or, soit à l'état d'alluvion dans les couches, soit à l'état de filons. Il faut passer du silurien au tertiaire pour retrouver des niveaux aurifères. Par contre, les assises tertiaires, qui occupent à peu près la moitié de la superficie de la province, sont extrêmement importantes au point de vue des *placers* qu'elles renferment.

Dans Victoria comme en Californie, l'exploitation des placers tertiaires a pris un grand développement, et, bien que les circonstances locales n'aient pas permis d'exploiter les placers australiens par des méthodes aussi économiques que celles en usage dans la Californie, les alluvions de Victoria continuent cependant encore à être avantageusement exploitées, même à Ballarat, où leur exploitation a débuté en 1851. Là, d'ailleurs, comme en Californie, les vallées anciennes sont souvent recouvertes par des épanchements de basalte, et il faut une étude géologique approfondie de la région pour arriver à tracer les lignes de thalweg de ces vallées.

Les terrains tertiaires de Victoria ont été divisés en trois groupes : le *tertiaire inférieur*, ou *oligocène ;* le *tertiaire moyen*, ou *miocène;* le *tertiaire supérieur*, ou *pliocène*.

On n'a pas trouvé d'affleurements indiquant des formations qui puissent appartenir à l'*éocène*.

Oligocène. — Les premiers terrains visibles de la période

tertiaire sont intermédiaires entre l'éocène et le miocène. Leurs points d'émergence au voisinage de la côte occupent des surfaces de peu d'étendue ; ils sont, au contraire, très développés dans les districts du nord de la province.

Ces terrains sont surtout formés d'argiles bleues ou grises, quelquefois sableuses, quelquefois plastiques, contenant des lentilles calcaires presque exclusivement formées de tests. Ils contiennent de nombreux fossiles, entre autres quelques énormes spécimens de *Volutes* et de *Cyprées*.

Miocène. — Les formations miocènes sont très développées et couvrent de grandes étendues. Elles comprennent des dépôts marins, des dépôts lacustres et des dépôts fluviaux, couronnés par des nappes de basalte désignées sous le nom de « *older volcanic* ».

Alluvions marines. — Les affleurements des dépôts marins sont peu étendus ; mais on constate la présence de ces dépôts au bord de la mer, dans les vallées d'érosions profondes, et on les retrouve dans les puits et les sondages forés au milieu des formations pliocènes.

Au bord de la mer, les terrains miocènes donnent lieu à de hautes falaises de 50 à 60 mètres de hauteur que la mer vient battre et disloquer en laissant comme témoins des rochers isolés, sortes d'énormes obélisques à joints horizontaux. Ces terrains sont constitués d'alternances de lits de calcaire plus ou moins sableux, de sables ferrugineux, de calcaire corallien et d'argile quelquefois noire.

M. R. Daintree donne, ainsi qu'il suit, la description d'une falaise de 100 mètres auprès de Springcreek, au sud de Geelong, de haut en bas :

32m : Calcaire sableux jaune, composé surtout de Polyzoaires et de fragments de baguettes d'oursins.
Cellepora Gambierensis, Spatangus Forbesi, Terebratula compta.

50m : Argiles sableuses grises et brunes, où dominent les coquilles bivalves, et en particulier des *Pecten*.
Pectunculus laticostatus.
20m : Argile oligocène, où dominent les coquilles univalves.

Alluvions lacustres. — Les dépôts lacustres consistent surtout en argiles à lignite qui remplissent des bassins formés dans les terrains plus anciens. M. Murray cite, comme exemples, les *placers de Morisson*, sur le Moorabool, auprès de Meredith. Là, le miocène forme parfois un « *false bottom* » sur lequel reposent les graviers aurifères pliocènes ; autrement dit, il y a plusieurs niveaux aurifères superposés.

De même, les argiles à lignite de Tarwin, dans le Gippsland, recouvertes par les basaltes anciens sont des alluvions lacustres.

Alluvions des rivières. — Les alluvions des rivières sont les plus fréquentes et constituent la plus grande partie des couches miocènes. Elles consistent en sables, graviers et conglomérats, recouverts ou non par les basaltes anciens. On les rencontre jusqu'à l'altitude de 1.500 mètres dans la chaîne de partage ; ce sont elles qui donnent surtout lieu aux exploitations placériennes du Gippsland, où elles sont généralement recouvertes de basaltes. Tel est le cas dans la rivière de Tanjil (*fig*. 3 et 4, Pl. VIII).

Basaltes (*older volcanic*). — Il existe plusieurs nappes de basaltes intercalées dans les couches miocènes ; mais la fin de la période est marquée par un redoublement dans l'activité volcanique. Là où ils ne sont pas altérés, ces basaltes anciens sont compacts, foncés, à structure polygonale et quelquefois colonnaire. Leur pâte est surtout formée d'augite, de labradorite, d'olivine et de fer spéculaire. Généralement, ils sont altérés et ils donnent alors

des argiles rouges, jaunes, brunes, ou presque blanches, contenant des fragments durs de roche moins décomposée.

Partout où affleurent les basaltes, le sol est d'une remarquable fertilité, et la végétation est luxuriante. Très souvent les basaltes occupent les sommets de montagnes ou de collines, ce qui indique que ce sont de simples restes de coulées qui ont dû être excessivement importantes et qui ont rempli les vallées de l'époque miocène. Protégées contre les actions superficielles par leur manteau de basalte, ces vallées subsistent maintenant sur les hauteurs, tandis que les anciennes collines, non recouvertes, ont disparu sous l'action des érosions. Les *fig*. 3 et 4, Pl. VIII, montrent par exemple la rivière miocène de Tanjil à un niveau supérieur à celui de la rivière actuelle, ce qui permet d'exploiter les placers à flanc de coteau.

De même, tous les points culminants des hauts plateaux de Dargo, dans la chaîne de partage, sont formés par des basaltes dont l'épaisseur dépasse 200 mètres, et il paraît probable qu'en plan ces points culminants jalonnent le cours des vallées miocènes. On se rend bien compte de ce fait en considérant la coupe donnée par M. Murray dans cette région (*fig*. 5, Pl. VIII).

Pliocène. — La série des couches formées d'alluvions marines ou fluviales et comprises entre les basaltes anciens et les laves récentes forme le pliocène.

Le *pliocène marin* consiste surtout en bancs de sables ferrugineux plus ou moins gros, quelquefois agglomérés, en graviers, conglomérats et argiles. On le rencontre au sud, dans toutes les vallées principales qui descendent à la mer, et, au nord de la chaîne de partage, dans les vallées des affluents de la Murray, où il atteint l'altitude de 300 mètres. De grandes vallées d'érosion interrompent la continuité des couches que recouvrent en d'autres points de récentes coulées de laves.

Plus récentes que les dépôts marins, les *alluvions fluviales* sont le dernier terme des terrains pliocènes. Elles sont formées de graviers, de conglomérats, de sables et d'argiles, qui occupent les lignes de thalweg des vallées anciennes. Ces vallées se terminent toujours au milieu de dépôts marins dont les bords indiquent les limites de la mer pliocène. Recouverts par une épaisseur plus ou moins grande d'alluvions plus récentes ou par des coulées de laves, ces alluvions donnent lieu à l'exploitation des placers connus sous le nom de « *deep leads* ». C'est ainsi qu'à Chiltern, Hunthly et Dunolly, les placers pliocènes sont recouverts d'alluvions récentes, tandis que Ballarat, Haddon et Daylesford offrent les types de vallées anciennes protégées par des coulées de laves (*fig.* 6 et 7, Pl. VIII).

Les empreintes d'*Eucalyptus Pluti* sont fréquentes dans le pliocène ; les principaux mollusques marins sont : *Trigonia acuticostata*, *Cerithium flemingtonense*, *Waldheimia macropora* et diverses variétés des genres *Ditrupa*, *Lepralia*, etc... Parmi les animaux marins, on retrouve des restes de *Diprotodon longiceps*, *D. australis*, et des individus des genres *Phascolymus*, *Macropus*, *Procoptodon*.

Laves. — Les *laves*, qu'on appelle aussi *basaltes* ou *blue stones*, recouvrent de grandes étendues dans la région à l'ouest de la partie centrale de la province; elles forment les grandes plaines qui s'étendent de Geelong à Hamilton et de Colac à Ararat. Au nord de Ballarat, on les retrouve même dans la chaine de partage, et leurs coulées recouvrent les placers de Creswick, de Clunes, de Daylesford, en descendant sur la Murray. A Ballarat, on constate, suivant les points, deux, trois ou quatre coulées distinctes de laves, généralement séparées par des argiles sableuses (*fig.* 7 et 8, Pl. VIII).

On a reconnu un grand nombre des points d'émergence

de ces laves ; ce sont des cônes volcaniques dont le cratère est encore quelquefois très visible. Quelques-uns de ces cratères sont maintenant remplis par des étangs ou par des lagunes; c'est le cas à Tower Hill, près de Warrnambool et à Mount Mercer, au sud de Bunninyong. Auprès des cônes volcaniques, par exemple au voisinage de Ballarat, de Clunes et de Daylesford, on trouve des scories et des cendres volcaniques qui contiennent quelquefois des blocs de basaltes anciens pesant plusieurs tonnes, ainsi que des blocs de granite.

ÈRE RÉCENTE.

Période quaternaire. — Les dépôts récents sont formés d'argile, de sable et de limon. Leur étendue est quelquefois considérable. Ils reposent soit sur les schistes siluriens, soit sur les grès secondaires, soit sur les assises tertiaires. En certains points, on trouve des lits de lignite.

Généralement formés aux dépens des schistes siluriens et des graviers tertiaires, ces dépôts sont très importants pour les chercheurs d'or. C'est là qu'on trouve les placers de surface, souvent très riches, à Bendigo par exemple, placers seuls exploitables par des mineurs isolés.

ROCHES ÉRUPTIVES.

J'ai déjà signalé, en dehors du granite, la présence de quatre niveaux de roches éruptives épanchées en nappes de plus ou moins grande étendue. Ce sont :

Les *porphyres de la rivière Snowy*, contemporains du dévonien inférieur;

Les *mélaphyres* de la fin de la période paléozoïque;

Les *basaltes* du miocène ;

Les *laves* du pliocène ou du début de la période actuelle.

On constate, en outre, de nombreux dykes, de véritables filons de roches, dont la puissance varie de quelques centimètres à plus de 100 mètres, et dont la continuité en direction peut être quelquefois appréciée sur plusieurs kilomètres.

Ces dykes et filons ont été rapportés à deux époques différentes, et les géologues australiens distinguent :

Les roches de l'*ère paléozoïque;*

Les roches *postérieures à l'ère secondaire.*

Roches de l'ère primaire. — Ces roches se rencontrent en dykes dans les étages siluriens et surtout dans le granite. Dans le granite ce sont des *eurites*, des *granulites;* on trouve en plus dans le silurien des *syénites*, des *porphyres* divers, des *elvans*, des *rhyolites*. Toutes ces roches sont sans importance au point de vue de la recherche des mines; mais il en est tout autrement des filons de *greenstone* ou, plutôt, de *diorite*, qui viennent recouper le silurien supérieur et qui sont en relation directe avec les filons d'or.

Ces diorites sont formées de feldspath plagioclase et d'amphibole hornblende avec un peu de quartz et de mica. Elles se présentent en filons d'épaisseur très variable et se réduisent parfois à une simple trace entre des renflements successifs. La direction coïncide quelquefois avec celle des étages siluriens; d'autres fois, elle s'en écarte plus ou moins.

La composition et la texture de la roche sont variables; quelquefois on se trouve en présence d'une roche à gros grains, riche en amphibole, où l'on distingue facilement l'amphibole et le feldspath; ailleurs, les éléments ne sont pas discernables. En certains points, la roche est plus ou moins imprégnée de pyrite de fer, pyrite de cuivre, pyrite arsenicale, et l'imprégnation peut être suffisante pour que la roche soit un véritable minerai.

C'est dans une diorite riche en amphibole qu'a été ouverte la mine de cuivre de la rivière Thomson.

Roches postérieures à l'ère secondaire. — On a classé comme roches postérieures à l'ère secondaire tous les dykes rocheux présentant des caractères analogues à ceux des basaltes et ressemblant aux basaltes ou aux laves. Ces dykes recoupent les grès de Bacchus Marsh et ceux de Western Point; ils sont donc postérieurs aux sédiments secondaires, et leur analogie avec les basaltes et les laves rend très probable leur contemporanéité avec ces roches. Tel est le cas des « *lava streaks* » de Bendigo, véritables filons à remplissage rocheux tout à fait assimilable aux laves pliocènes. Bien que ces filons soient au voisinage immédiat des gîtes d'or, il ne semble pas qu'il y ait de connexion entre eux et la formation des quartz aurifères qui sont beaucoup plus anciens. On a trouvé dans ces roches quelques cristaux de péridot, mais l'augite et la magnétite sont surtout abondantes.

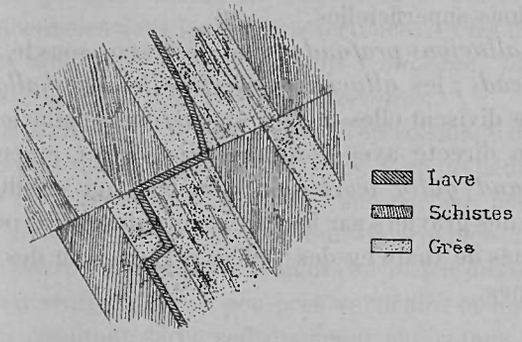


Fig. 1. — Filon de lave à la mine Catherine reef United (Bendigo).

Les filons de lave ont une allure identique à celle des filons métalliques. Leur puissance est faible, souvent $0^{m},10$ à $0^{m},20$ seulement. Au passage d'une strate dans

une autre on constate quelquefois un changement de direction ; le plan du filon se rapproche du plan de la stratification dans les schistes, il s'en éloigne dans les grès. On en trouve un exemple à la mine *Catherine reef United*, à Eaglehawk, près de Bendigo (*fig.* 1 ci-contre). Un filon de lave est tantôt interstratifié et tantôt recoupe les grès normalement.

Très souvent les cassures ainsi remplies ne sont que des réouvertures de fractures plus anciennes. C'est ainsi que très souvent la réouverture a eu lieu suivant une éponte d'un gite de quartz; quelquefois aussi le filon de lave est au milieu du quartz.

ÉTUDE DES GITES D'OR.

Les mines d'or de la province de Victoria exploitent soit des alluvions aurifères, soit des quartz.

Les *alluvions aurifères*, ou *placers*, se rencontrent à l'état d'alluvions profondes ou recouvertes, ou bien à l'état d'alluvions superficielles.

Les *alluvions profondes* sont désignées sous le nom de *deep leads ;* les *alluvions superficielles*, ou *shallow placers*, se divisent elles-mêmes en *surfacing*, alluvions sans relation directe avec l'orographie du pays, et en *river, creek and gully workings*, alluvions qui résultent du lavage des graviers par les eaux courantes et qui occupent les lignes de thalweg des vallées actuelles ou des vallées anciennes.

ALLUVIONS AURIFÈRES, OU PLACERS.

Parmi les terrains stratifiés, il semble que tous les terrains, postérieurs à l'ère primaire et formés aux dépens des schistes siluriens, soient aurifères aux points correspondant aux lignes de thalweg de l'époque où ces terrains se sont formés. C'est ainsi que, dans la Nouvelle-Galles du Sud, on a trouvé de l'or et même de grosses pépites dans les conglomérats de la fin du dévonien. Dans Victoria, on n'a jamais fait de recherches dans les grès et les conglomérats de la fin de l'ère primaire, pas plus que dans les grès mésozoïques.

On croyait même autrefois qu'il était inutile de rechercher l'or dans les terrains postérieurs au pliocène, et M. Selwyn indiquait seulement trois niveaux aurifères : pliocène inférieur, pliocène supérieur, quaternaire. Mais, dès que des recherches bien conduites ont été dirigées sur les grès et sables miocènes, on a là aussi rencontré des niveaux aurifères et des régions riches aux points où les sables et graviers de cette époque reposent sur les schistes siluriens. Tel a été le cas dans le Gippsland, où des placers ont été découverts et exploités sous des basaltes miocènes ; de même, dans le bassin du Yarra, des conglomérats miocènes ont donné lieu à des exploitations.

Jusqu'à présent, toutes les exploitations placériennes sont concentrées dans les terrains tertiaires, et les niveaux aurifères sont classés comme il suit : *miocène*, *pliocène inférieur*, *pliocène supérieur*, *quaternaire*.

Je dois signaler ici le fait constant du voisinage des placers avec les filons de quartz aurifères. L'or ne peut voyager que là où le *bedrock* présente une surface lisse, sur laquelle l'or ne peut se déposer. Dans la province de Victoria, ce *bedrock* est presque toujours formé par des schistes siluriens à stratification à peu près verticale, et les aspérités qui résultent de ce redressement ont retenu l'or au voisinage immédiat des quartz. On voit donc bien là l'importance de la nature du *bedrock* sur la richesse des placers. Est-il formé par une strate régulière, suffisamment lisse, les placers occupent une très large étendue, et leur teneur est à peu près constante en tous les points. Le

bedrock est-il, au contraire, formé de couches redressées, à cassure esquilleuse, les inégalités que présente sa surface concentrent l'or en certains points ; les placers sont peu étendus et à richesse très inégale. C'est le cas de presque tous les placers de Victoria, de tous ceux, du moins, qui résultent d'alluvions fluviales. Les rares placers qui présentent une certaine étendue avec une répartition moins inégale de la richesse sont dans des alluvions résultant d'actions littorales.

Placers miocènes. — En dehors des dépôts littoraux dont les graviers sont exploités dans le Gippsland, le miocène présente peu de dépôts marins. La plupart des placers de cette époque résultent d'actions fluviales. Les alluvions sont généralement recouvertes par des coulées de basalte, et, dans tous les cas, les placers se présentent comme *deep leads*.

Comme exemple de placers miocènes, je citerai ceux de Tangil, dans la région dite « *Russell's Creek Gold Field* » (Gippsland). Au voisinage de la rivière Tangil, les travaux d'exploitation ont reconnu sous les basaltes une ancienne vallée miocène, dont la ligne de thalweg est assez voisine du cours actuel de la rivière, et on constate que cette vallée miocène est à un niveau notablement supérieur à la vallée actuelle (*fig.* 3 et 4, Pl. VIII).

Sur le plan et sur la coupe faite par la ligne *ab*, dans les travaux de la « *Tanjil Gold Mining Company* », on constate que les alluvions miocènes reposent sur le silurien. Elles sont recouvertes par une nappe de basalte décomposé qui masque à peu près complètement leurs affleurements. La coupe montre, d'ailleurs, que le *deep lead* a été exploité par une galerie partant d'une vallée voisine et venant aboutir sur la ligne de thalweg de la vallée tertiaire.

Placers pliocènes. — En certains points, les alluvions

exploitées dans le *pliocène inférieur* sont formées de dépôts littoraux ; en d'autres points, on a affaire à des alluvions fluviales. La plupart du temps, les placers sont des *deep leads* recouverts par des alluvions plus récentes ou par des coulées de laves. Lorsque les phénomènes d'érosion ont enlevé la plus grande partie des dépôts sous-jacents, les parties profondes reposant sur le silurien peuvent subsister seules et donnent des placers de surface (*shallow placers*).

Quelquefois les alluvions aurifères du pliocène inférieur sont constituées par des graviers ou des conglomérats dus, en apparence, à des actions littorales. Elles donnent alors lieu à des placers beaucoup plus étendus ; on n'a plus, comme précédemment, ce qu'on appelle un *lead gravel ;* l'or ne se trouve pas nécessairement dans les parties creuses du *bedrock ;* il existe également, et souvent en aussi grande quantité, sur les versants des parties creuses. Bien qu'on trouve là aussi des parties riches bien définies, ce qu'on appelle des « *runs* », l'or est cependant réparti d'une manière plus uniforme que dans les alluvions fluviales. Les mines qui exploitent de tels gisements sont désignées sous le nom de *gravel mines*.

Les graviers du *pliocène supérieur* sont antérieurs aux laves et occupent les lignes de thalweg des vallées postérieures au pliocène inférieur. Les placers sont généralement des *deep leads gravels* d'étendue très limitée, et analogues à ceux du pliocène inférieur. Ils sont recouverts soit par des dépôts plus récents, soit par une ou plusieurs coulées de laves.

On appelle généralement *reef washes* les graviers aurifères compris entre deux coulées de laves.

Placers de Ballarat (*fig.* 6 et 7, Pl. VIII). — C'est aux placers pliocènes que Ballarat doit surtout sa célébrité. Dans la région de Ballarat-Est commence une grande vallée

du pliocène moyen (partie supérieure du pliocène inférieur), dont les alluvions, formées aux dépens des schistes siluriens, recoupés par un grand nombre de veines de quartz aurifères, ont été autrefois trouvées très riches. D'abord recouverte simplement par des alluvions pliocènes ou quaternaires, elle traverse la rivière Yarrowee et, sur l'autre rive, dans Ballarat-Ouest, elle est recouverte par des coulées de laves qui forment un vaste plateau à peu près horizontal. La plupart des puits foncés jusqu'au *bedrock*, à travers les laves, ont une profondeur de 50 à 150 mètres. On a constaté quatre coulées séparées par de minces couches d'alluvions. Les alluvions inférieures, qui reposent sur le silurien, ont été partout avantageusement exploitées; en certains points, on a également pu traiter les graviers des niveaux intermédiaires. La *fig.* 6 montre une coupe de cette région, et la *fig.* 7 donne le plan de la grande vallée pliocène qui a été exploitée pendant plus de 40 ans.

Suivant les points, la puissance de la couche exploitable varie de $0^m,50$ à $1^m,50$; mais souvent le bedrock est lui-même aurifère sur une épaisseur de $1^m,50$ à 2 mètres. La teneur est très variable; élevée aux points où les barres et les remous ont favorisé le dépôt de l'or, elle s'abaisse à 1 ou 2 grammes et même à quelques décigrammes dans le lit normal des vallées. On n'a pas reconnu là la règle remarquée dans les placers de la Californie, où, pour une ancienne vallée déterminée, la richesse de l'alluvion aurifère est à peu près constante. Les graviers cémentés sont notablement plus riches que les sables et graviers ordinaires.

Teneur moyenne des alluvions. — En 1887, les teneurs moyennes des alluvions traitées étaient à Ballarat :

Sables et graviers	$2^{fr},63$
Graviers cémentés	$33^{fr},66$

En 1890, la teneur des graviers cémentés était de beaucoup réduite; celle des sables et graviers était restée à peu près constante; les chiffres indiqués sont :

Pour les sables et graviers, de	$2^{fr},15$
Pour les graviers cémentés, de	$3^{fr},73$

Dans une mine, la teneur des sables traités était seulement de 1 gramme.

Si on se reporte aux statistiques du Service des Mines, on trouve qu'en 1893 les teneurs moyennes des alluvions exploitées dans Victoria ont été :

Pour les sables et graviers, de	$2^{fr},33$
Pour les graviers cémentés, de	$9^{fr},00$

Actuellement, le district de Creswick possède encore un grand nombre de placers en activité. En 1893, on en a extrait environ 2.200 kilogrammes d'or.

La proportion des graviers cémentés est très faible; elle est seulement de 1,5 p. 100 des alluvions traitées. En 1893, par exemple, sur 1 million de tonnes d'alluvions, on trouve 15.000 tonnes de graviers cémentés.

Les recherches d'alluvions profondes sont maintenant bien ralenties. En 1893, il a été dépensé dans ces recherches environ 400.000 francs, sur lesquels plus de 250.000 ont été dépensés à Ballarat. Les sondages au diamant sont le seul moyen de prospection; et, pour faciliter les recherches, l'Administration des Mines loue aux particuliers des équipages de sonde moyennant un prix fixé par arrêté ministériel.

Jusqu'à présent, on ne dépasse guère la profondeur de 100 à 150 mètres, et, dans ces conditions, le prix de revient d'un forage au diamant est en moyenne de 40 francs par mètre.

Généralement, on fore une série de trous suivant une ligne droite tracée, autant que possible, normalement à la direction présumée de l'ancienne ligne de thalweg; et on

se base pour cela sur les résultats obtenus dans les exploitations voisines. On arrête le sondage dès qu'on trouve les schistes siluriens. On peut alors tracer une coupe de l'ancienne vallée, et la prise d'essai faite sur le *bedrock* de la ligne de thalweg permet de déterminer immédiatement si on se trouve en présence de graviers exploitables.

La limite d'exploitabilité varie, d'ailleurs, avec le mode de lavage et avec les difficultés plus ou moins grandes que rencontrent les travaux souterrains. Le *sluice*, par exemple, permet de laver des alluvions dont le lavage au *craddle* ou à la *puddling machine* aurait coûté beaucoup trop cher.

On estime que, dans des régions suffisamment pourvues d'eau, à Ballarat par exemple, on peut encore exploiter avantageusement des alluvions recouvertes à la teneur de 1^{gr},5 pour les sables et graviers et de 3 grammes pour les graviers cémentés.

Placers quaternaires. — Les placers quaternaires sont formés de sables et de graviers plus récents que les laves et résultant du remaniement des dépôts antérieurs ou des érosions directes des schistes siluriens contenant les filons de quartz aurifères.

Dans le premier cas, les pépites sont arrondies par suite des remaniements qu'elles ont subis; dans le second, l'or est « *ragged* », il conserve la forme qu'il avait dans le quartz des filons.

Au point de vue du mode de gisement, on a toujours affaire à des alluvions superficielles — *surfacing* ou bien *river, creek and gully workings*.

Les premiers (*surfacing*) sont formés de minces couches d'argile, de graviers et de roches décomposées, sur les sommets ou sur les versants des montagnes siluriennes. L'or est en paillettes ou en pépites (*nuggets*) complètement libres ou encore associées à des fragments de quartz.

Les parties les plus riches se rencontrent dans les trous et dans les crevasses des schistes.

Très faciles à trouver, ces placers, généralement de peu d'étendue, ont été exploités d'abord en tous les points aurifères. On les rencontre partout où affleurent au jour les filons de quartz encaissés dans le silurien. Ils sont donc très précieux pour la recherche des filons, dont ils annoncent le voisinage immédiat et certain; ils n'existent, en effet, qu'au voisinage immédiat des filons aux dépens desquels ils se sont formés. Aux points où ces placers ont été trouvés, l'exploitation a fait disparaître toute trace de végétation; tous les trous, toutes les crevasses des schistes siluriens ont été fouillés et vidés, et c'est ainsi qu'à Bendigo une grande partie de la région a été pour longtemps rendue stérile.

Les *river, creek and gully workings* sont des alluvions superficielles qui résultent du lavage des graviers par les eaux courantes. Les placers sont donc distribués sur la ligne de thalweg actuelle ou sur les terrasses qui correspondaient autrefois à des vallées anciennes; c'est ainsi que, dans quelques vallées, on trouve des terrasses de gravier aurifère à une assez grande hauteur. Le gravier aurifère varie en épaisseur de quelques centimètres à plusieurs mètres; le prospecteur se laisse surtout guider par l'orographie de la région. Les changements de direction ou de pente, les rétrécissements ou les élargissements, ont favorisé le lavage de l'or ou bien ont amené le dépôt des matières légères; de là, des parties riches et des parties pauvres; mais, en un point donné, la partie la plus riche est naturellement au contact du *bedrock* et surtout dans les crevasses qui peuvent y exister.

Placers de Bendigo. — Les placers quaternaires se rencontrent dans tous les districts aurifères; je dirai seulement quelques mots des *shallow placers* de Bendigo.

La *fig.* 1, Pl. IX, montre le plan des alluvions quaternaires de la région et les affleurements des filons. Partout le silurien affleure, et il est recoupé par une multitude de filons tous parallèles ; les uns sont aurifères; les autres, stériles ; les premiers sont compris dans une zone passant par Bendigo, et, de chaque côté de cette zone riche, sont des zones à peu près stériles.

On constate immédiatement sur le plan :

1° Que les alluvions sont aurifères dans les seules vallées recoupées par des filons aurifères ;

2° Que les placers sont au voisinage immédiat des filons, et s'étendent à peu de distance de ceux-ci.

La richesse des alluvions quaternaires a naturellement été très variable. On se trouve, d'ailleurs, ici, en présence de mineurs travaillant isolément ou par petits groupes, et il n'est pas possible d'avoir des renseignements exacts, pas plus sur l'or produit que sur les graviers lavés. En 1890, le Service des Mines indiquait le chiffre de 17 grammes comme représentant la teneur moyenne des alluvions lavées dans l'année, dans le district de Bendigo. L'épaisseur des graviers varie là de 0 à 3 mètres.

Or gros. — Pépites et nuggets. — J'ai signalé précédemment les très grandes variations de richesse qu'on rencontre dans un même placer. L'inégalité dans la répartition de l'or est encore augmentée par le fait que l'or existe le plus souvent à l'état d'*or gros* dans les alluvions. On trouve, non seulement des paillettes, des pépites, mais aussi d'énormes blocs, d'énormes *nuggets* dont on se fait une idée par les reproductions exposées à l'École des Mines de Ballarat.

Le plus gros *nugget* a été trouvé à Moliagul ; il est connu sous le nom de « *Welcome Stranger* » ; son poids était de 71 kilogrammes environ.

Ballarat vient ensuite avec les *nuggets* les plus gros et

les plus nombreux. Tous ont été trouvés dans les *deep leads* tertiaires. Je citerai entre autres : le « *Welcome Nugget* » pesant 69 kilogrammes, d'une valeur de 262.500 francs, trouvé à *Bakery-Hill*, à la profondeur de 60 mètres ; le « *Lady Notham Nugget* » pesant 36 kilogrammes, trouvé auprès de *Canadian-Gully* à la profondeur de 45 mètres.

Une autre région également célèbre par ses pépites est celle de Rhéola (*Berlin Goldfield*), dans le comté de Gladstone. Là, les placers sont formés d'alluvions quaternaires rentrant dans la catégorie des *river and gully workings*. En 1871, des Chinois trouvèrent le « *Precious* », de plus de 53 kilogrammes, reposant sur le *bedrock* à la profondeur de 4 mètres. Dans la même année, on trouva le « *Kum Low* » de près de 25 kilogrammes. Le « *Canterbury* », de 35 kilogrammes, fut trouvé, en 1870, à la profondeur de $2^{m},60$. On constate que tous ces gros *nuggets* ont été trouvés au voisinage immédiat des filons ; il en est de même des parties riches des vallées pliocènes ou des vallées quaternaires.

Les géologues ont attribué à diverses causes la formation des *nuggets* ; les uns estiment que ce sont simplement des morceaux d'or qui préexistaient dans les filons avant leur démolition par les agents extérieurs ; les autres y voient le résultat d'un accroissement de pépites à l'origine moins grosses, accroissement dû à un phénomène de précipitation. Pour ceux-ci, la dissolution de l'or aurait été auparavant produite par l'action d'eaux minérales accompagnant les éruptions de lave du pliocène.

En fait, on n'a jamais trouvé dans les filons des pépites comparables à celles des alluvions ; mais, d'un autre côté, les grosses pépites de Rhéola présentent à peu près toutes un aspect qui semble montrer leur provenance directe des filons ; si l'une des faces est arrondie et usée par les frottements, l'autre présente encore des angles vifs et semble être telle qu'elle devait exister dans le filon.

L'hypothèse de la préexistence des pépites dans les filons semble plus plausible que celle de l'accroissement par précipitation dans les alluvions, et il est facile d'expliquer pourquoi l'on ne trouve plus actuellement de si grosses pépites en place. Les filons aurifères de Victoria sont très anciens ; ils sont antérieurs aux dépôts mésozoïques. Depuis leur venue, la roche encaissante et eux-mêmes ont été soumis à des érosions formidables, et les affleurements actuels sont des parties des filons qui, à l'origine, ont dû être à une très grande profondeur. De la considération de ces affleurements on ne peut pas conclure ce qu'étaient les affleurements réels au moment du remplissage des fractures. Il n'est pas douteux qu'à leur arrivée au jour, pendant la période dévonienne ou seulement dans l'ère secondaire, les eaux minérales aurifères se trouvaient dans des conditions autres que dans la profondeur, aussi bien au point de vue physique qu'au point de vue chimique. A la place d'une fracture régulière, il y avait probablement des séries de fractures irrégulières dans des roches déjà altérées ; de plus, une foule de conditions spéciales à la surface, par exemple des débris d'organismes vivants, pouvaient amener la réduction beaucoup plus rapide des solutions aurifères. De là, des phénomènes de précipitation tout à fait différents de ceux qui se sont produits à l'intérieur ; peut-être même a-t-il pu se produire des phénomènes de sursaturation, permettant, au moment du refroidissement brusque à l'air, des concentrations anormales des matières dissoutes. On conçoit qu'ainsi aient pu se produire ces énormes pépites qui n'avaient aucune tendance à se former dans la profondeur.

GÎTES DE QUARTZ AURIFÈRES

Roche encaissante. — Le nombre des gîtes de quartz aurifères de la province de Victoria est extrêmement grand. Beaucoup de gîtes ont déjà été reconnus et exploités ; il en reste probablement encore un bien plus grand nombre à découvrir. Tous sont dans les *terrains siluriens*, formés d'alternances de schistes et de grès, qu'ils recoupent, en général, parallèlement à la direction des strates. Très souvent ils accompagnent, recoupent ou suivent les dykes de diorite.

Dans le silurien inférieur, les filons sont recoupés par les dykes de diorite, qui leur seraient ainsi postérieurs, et la distribution de l'or dans les gîtes paraît indépendante de la présence des diorites. Dans le silurien supérieur, les filons recoupent les dykes de diorite, et il y a une relation assez intime entre la distribution de l'or et la présence de ces roches. Les quartz se présentent alors, soit en lentilles bien définies, en *lodes*, au toit ou au mur des dykes, — soit en filons parallèles à la direction du dyke et entièrement situés dans la diorite, — soit en veinules, en *veins*, verticales ou horizontales, recoupant la diorite d'une éponte à l'autre et s'étendant quelquefois un peu dans les schistes.

Quelle que soit la nature des gîtes de quartz, ceux-ci sont désignés en Australie sous le nom de *reefs* ; le mot *reefs* a donc ici même signification que les mots *ledges* en Californie et *crevices* au Colorado.

Remplissage. — Le remplissage des gîtes est formé de quartz.

Tantôt celui-ci est blanc et amorphe, tantôt il est cristallin ; sa structure est compacte ou rubanée ; les

changements de structure sont, d'ailleurs, fréquents dans un même gîte.

L'or est souvent visible à l'œil, c'est de l'or gros. Il se présente sous divers aspects ; tantôt ce sont des pépites plus ou moins grosses, tantôt des filaments isolés ou réunis dans des cavités qu'ils tapissent à la manière d'une mousse ; le plus souvent, ce sont des mouches fines. Avec l'or, on trouve des cristaux ou des mouches de pyrite de fer, de pyrite de cuivre, de pyrite arsenicale, de galène, de blende, de mispickel. Dans la plupart des mines, les pyrites indiquent toujours la présence de l'or.

Les gîtes du silurien supérieur sont surtout riches en pyrites et se rapprochent de la catégorie des quartz réfractaires à l'amalgamation, qui nécessitent des teneurs plus fortes que les quartz ordinaires pour pouvoir être traités industriellement. Dans le silurien inférieur l'or est, au contraire, facilement amalgamable, *free milling*. C'est ainsi que les teneurs moyennes des quartz traités sont, dans le silurien supérieur, de 21^{gr},7 à Beechworth, et de 24^{gr},7 dans le Gippsland ; elles sont beaucoup plus faibles dans le silurien inférieur, et l'on trouve pour Bendigo 14 grammes, et pour Ballarat seulement 12 grammes.

Distribution de l'or. — L'or est quelquefois distribué dans le quartz uniformément ; le plus souvent, il est concentré dans une zone spéciale, soit au toit, soit au mur, rarement au centre de la veine.

Les régions riches affectent la forme de lentilles discontinues ou, plutôt, ce sont des colonnes, des *shoots* de hauteur variée, qui plongent à droite ou à gauche par rapport à la ligne de plus grande pente du plan. Dans le plan d'un filon, ces colonnes riches semblent se reproduire périodiquement, la période étant la même pour les filons d'une région déterminée.

Cette périodicité n'est pas seulement apparente dans

un filon considéré isolément, elle l'est également sur l'ensemble des filons d'une région. Soit dans le silurien inférieur, soit dans le silurien supérieur, dans les schistes ou dans les diorites, les *reefs* ou filons, toujours parallèles, se présentent en groupes assez bien définis pour former des zones, des *belts*. Ces *zones* sont parallèles entre elles, et leur direction commune est parallèle à la direction des strates du silurien. Les observations faites précédemment sur les parties riches d'un filon s'appliquent à une zone, c'est-à-dire que, dans une zone, on trouve des colonnes riches séparées par des colonnes pauvres ; les colonnes riches sont parallèles et généralement périodiquement réparties.

Entre les zones riches, qui comprennent chacune un plus ou moins grand nombre de filons, s'étendent des zones stériles renfermant des filons de quartz stériles ; autrement dit, les zones aurifères et les zones stériles sont, elles aussi, périodiquement réparties sur une ligne perpendiculaire à leur direction. Les zones aurifères paraissent moins larges, plus distantes les unes des autres dans le silurien supérieur que dans le silurien inférieur.

Quand on examine l'ensemble des affleurements des filons dans une région, on constate l'absence de fractures donnant lieu à des croiseurs ; toutes les traces des filons sur le sol sont parallèles. Il n'y a donc pas de colonnes riches verticales résultant de la rencontre de croiseurs. Au contraire, dans un plan vertical perpendiculaire à la direction des veines, certains croiseurs, dont la direction est la même que celle des filons, mais dont le pendage est différent, peuvent amener des enrichissements, et les colonnes riches ainsi formées sont voisines de l'horizontale. Ces croiseurs ne constituent pas, en général, des filons exploitables ; ce sont ou bien de simples plans de glissement, occasionnant dans le filon un rejet qui est une cause de brouillage et, par suite, d'appauvrissement, ou bien de

petites veines pyriteuses inexploitables, mais qui enrichissent les filons en pyrite et augmentent leur teneur en or. On les désigne alors sous le nom d'*indicators*. De tels croiseurs ont été rencontrés à la mine « *Victoria United* » et à *Speedwell*, dans la région Est de Ballarat (*fig.* 2 et 3).

Allure des gîtes. — La majeure partie des gites de quartz est constituée par des remplissages de fractures qui recoupent les strates ; on se trouve là, en présence de véritables filons. On trouve, en outre, des gites qui affectent une allure tout à fait spéciale et qui sont nettement interstratifiés dans les schistes encaissants ; ce sont tantôt des filons-couches, tantôt des couches de grès plus ou moins imprégnées de quartz. Les gîtes de la région de Bendigo sont particulièrement remarquables ; nettement interstratifiés, ils occupent les sommets d'une série de plis anticlinaux. Le nom de *saddle reefs* donné à ces gîtes peut donc bien être exprimé en français par *gîtes anticlinaux*. Ces gites anticlinaux se retrouvent, d'ailleurs, dans la Nouvelle-Galles du Sud ; j'aurai l'occasion de montrer que le grand gite d'argent de Brokenhill paraît, lui aussi, être constitué par un *saddle reef*.

Gîtes filoniens proprement dits. — Ces gites se rencontrent dans presque tous les districts aurifères. Ce sont des filons réguliers qui paraissent indéfinis en profondeur et qui se suivent sur des longueurs plus ou moins grandes, quelquefois sur plusieurs kilomètres.

On rencontre aussi des séries de cassures secondaires, très voisines l'une de l'autre et généralement peu puissantes, très limitées en direction et en profondeur, et faiblement inclinées (*flat veins*). Elles donnent lieu à de simples lentilles isolées de minerai, quelquefois exploitables.

C'est ainsi que, dans la région Est de Ballarat, par

exemple à la mine « *Victoria United* » (*fig.* 2), à côté de veines verticales assez puissantes, mais à remplissage pauvre, on exploite une série de veines irrégulières, dont le pendage varie de 0 à 45° et dont la puissance est comprise entre 0 et 3 mètres. On constate là que plusieurs « *indicators* », ou minces veines de pyrite, concordant avec la stratification des schistes, amènent des enrichissements aux points où ils rencontrent les veines de quartz.

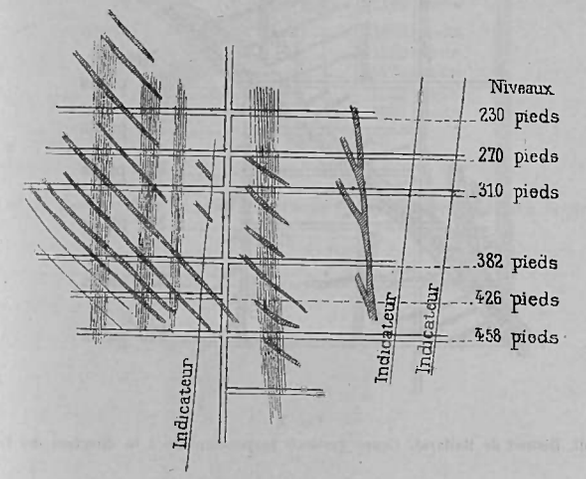


Fig. 2.
Mine Victoria United. District de Ballarat. Coupe verticale perpendiculaire à la direction des veines.

De même, à Speedwell, des filons verticaux sont recoupés par plusieurs veines ou lentilles presque horizontales dont certains points ont été reconnus très riches (*fig.* 3). Il paraît probable qu'on peut assimiler ces veines à celles qu'on rencontre au voisinage des gîtes de Bendigo.

Ces gites irréguliers sont relativement rares ; les filons réguliers sont plus nombreux et beaucoup plus importants. Je citerai, par exemple, celui exploité par le puits n° 1 de la « *Star of the East Company* », à Ballarat (*fig.* 4). L'in-

clinaison varie de 80° à 45° ; la puissance moyenne est de 1m,25. La profondeur des travaux atteint 700 mètres, et on exploite une colonne riche, inclinée à 30° environ sur l'horizontale, et dont la longueur est supérieure à 500 mètres. En 1894, on a extrait de là 25.000 tonnes de quartz, dont les teneurs ont varié de 9gr,65 à 10gr,70.

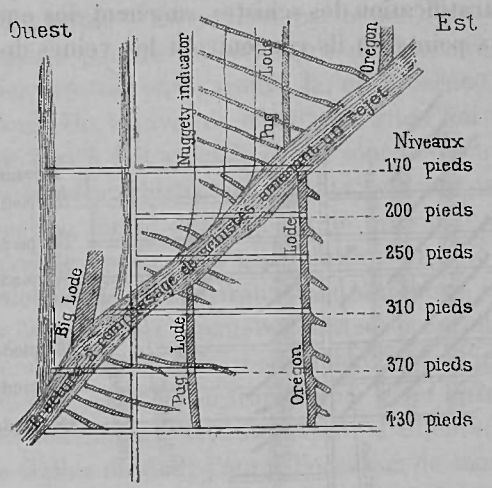


Fig. 3.
Speedwell. District de Ballarat. Coupe verticale perpendiculaire à la direction des veines.

Un filon analogue se rencontre au milieu de la ville de Daylesford et est exploité par la « *North Cornish Company* ». L'inclinaison du filon est de 57° ; sa puissance varie de 1m,50 à 6 mètres. Le quartz est riche en pyrite arsenicale et rend au traitement 12gr,8 par tonne.

Comme exemple de filon régulier, on peut encore citer le grand filon d'Eaglehawk qui est exploité depuis 1857, et dont certaines régions ont rendu plus de 4 kilogrammes d'or par tonne. Ce filon est recoupé par une faille qui le rejette et qui est minéralisée en certains points. Au puits Alliance, la puissance du filon varie de 2 mètres à 10 mètres (*fig.* 5).

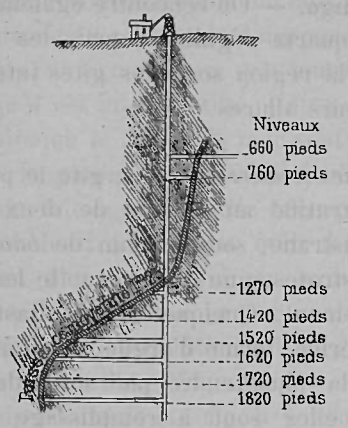


Fig. 4.
Star of the East Co. Filon du puits n° 1. Coupe verticale perpendiculaire à la direction :
Échelle $\frac{1}{11.000}$.

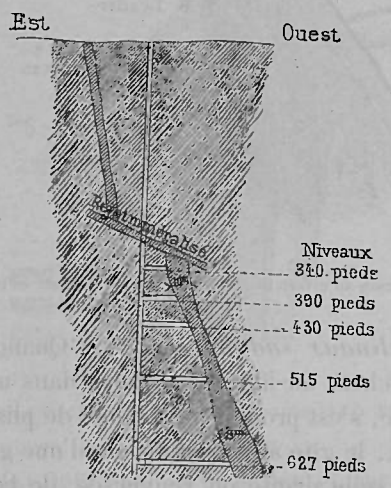


Fig. 5.
Grand filon d'Eaglehawk, Coupe verticale en travers par le puits Alliance :
Échelle $\frac{1}{11.000}$.

Gîtes de Bendigo. — On rencontre également à Bendigo des filons de quartz réguliers ; mais les gites les plus importants de la région sont des gîtes interstratifiés qui affectent plusieurs allures.

Filons-couches (*leaders*). — Le gîte le plus simple est le gite plan stratifié au contact de deux couches. On désigne, en Australie, sous le nom de *back*, une fissure parallèle aux strates, une diastrome, le long de laquelle il y a eu glissement. Quelquefois ces diastromes sont à remplissage stérile, formé d'argile résultant du broyage de la couche la plus tendre par suite du glissement ; d'autres fois, elles sont à remplissage de quartz et donnent lieu à des gîtes stratifiés désignés sous le nom de *leaders*. On les nomme aussi *bedveins* ou *backs* (*fig.* 6).

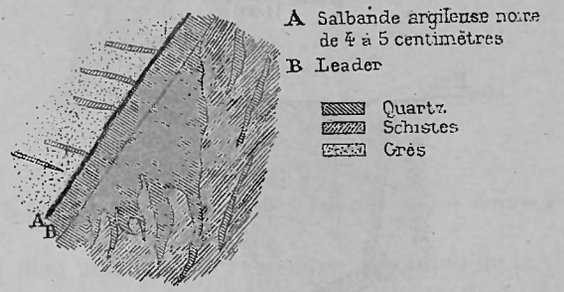


Fig. 6.
Mine Johnson au niveau de 300 mètres. Coupe verticale en travers.

Gîtes anticlinaux (*saddle reefs*). — Quand le décollement des couches, au lieu de se faire dans une région à peu près plane, s'est produit au sommet de plis synclinaux ou anticlinaux, le gîte affecte la forme d'une gouttière ou, plutôt, d'une selle droite ou renversée, de là le nom de *saddle reefs* donné aux gîtes qui sont au sommet des plis anticlinaux. Si le gîte est à la base d'un synclinal, il s'appelle *inverted saddle*. Ces gîtes à deux pendages synclinaux ou anticlinaux sont extrêmement nombreux à Bendigo.

Quand le gîte est au contact de deux couches différentes, grès et schistes par exemple, on voit immédiatement dans les travaux qu'il est interstratifié. Cette constatation est moins facile lorsque le toit et le mur sont formés par des schistes. On a longtemps confondu la fissilité avec la stratification et, du fait que le quartz recoupait les plans de clivage, on concluait que le gîte était formé par la rencontre de deux filons, dont l'un au moins recoupait les strates. C'est par suite d'une erreur analogue qu'on considérait autrefois le gîte du Rammelsberg, dans le Hartz, comme formé par un filon d'injection.

La partie supérieure de la selle, le sommet, est désignée sous le nom de *cap* ou *apex;* les deux côtés de la selle sont les *legs* (*fig.* 7).

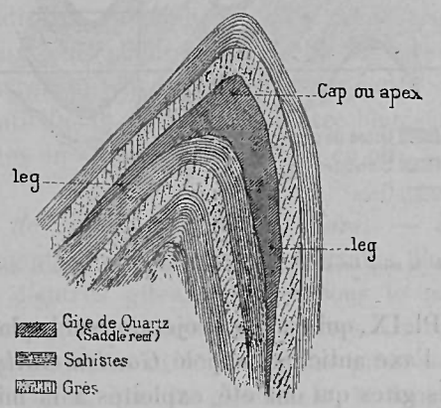


Fig. 7.
Gîte anticlinal (saddle reef). Coupe verticale normale à la direction du pli.

Un filon est défini par sa direction et par son pendage ; un gîte anticlinal n'est défini que si l'on se donne la *direction du sommet*, l'angle formé *par la ligne de faîte avec le plan horizontal*, *le pendage des côtés*.

Ces trois termes sont désignés en Australie par les mots *strike*, *pitch of reef*, *dip of leg*.

Gîtes synclinaux (*inverted saddle*). — Si, au lieu d'occuper le sommet d'un pli anticlinal, le gite est à la base d'un pli synclinal, on a ce qu'on appelle une selle renversée (*inverted saddle*); mais ces gîtes synclinaux sont beaucoup moins importants que les gîtes anticlinaux. On a exploité un gîte de cette nature à la mine « *Great Britain* », à l'ouest du grand pli anticlinal de New-Chum. La coupe perpendiculaire à la direction des couches (*fig.* 8) montre qu'à côté d'un gîte anticlinal, et à peu près au même niveau, deux gîtes synclinaux ont été exploités.

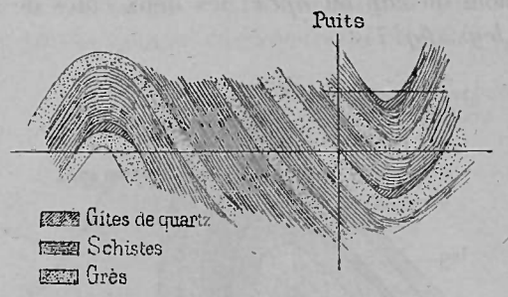


FIG. 8.
Gites synclinaux de la mine Great Britain. Coupe verticale normale à la direction des plis.

La *fig.* 2, Pl. IX, qui est une projection sur le plan vertical passant par l'axe anticlinal appelé *Garden Gully*, montre les différents gîtes qui ont été exploités à la mine *Johnson's reef United* jusqu'à la profondeur de 250 mètres. A côté du pli anticlinal principal (*Garden Gully*) sur lequel on a traversé quatre gîtes, et dont le pendage est vers le nord, un autre pli anticlinal (*Pyke*) présente un pendage vers le sud et est séparé du premier par un synclinal à pendage très faible qui offre au niveau de 175 mètres une selle renversée exploitable.

Pendant longtemps on n'a pas su reconnaître l'allure des gîtes de Bendigo ; on attribuait la forme en *selles* à la rencontre de deux filons. Il a fallu les travaux topographiques très précis exécutés par le Service des Mines pour indiquer la nature vraie des gîtes stratifiés, et il suffit de se reporter aux plans publiés, pour se rendre un compte très exact du mode de gisement des quartz. La question a, d'ailleurs, été bien étudiée, en 1891, par un éminent géologue américain, M. A. Rickard, qui a écrit sur ce sujet une étude détaillée très intéressante (*).

Les gîtes en selles peuvent être très développés dans le sens de l'axe du pli anticlinal ; par contre, en profondeur, au-dessous du *cap*, les *legs* diminuent rapidement de puissance et finissent par se réduire à une simple trace. Les exploitations doivent donc toujours être à la recherche de nouveaux gîtes pour assurer leur avenir, et les puits vont s'approfondissant rapidement ; c'est ainsi que plusieurs d'entre eux ont maintenant atteint la profondeur de 1.000 mètres. On place, d'ailleurs, les puits sur les axes des plis anticlinaux, de manière à être bien sûr de recouper les gîtes en selles subordonnés à ce pli.

Réseau de veinules (*make of spurs*). — J'ai montré précédemment qu'au voisinage de certains filons on avait rencontré d'autres gîtes, désignés sous le nom de *flat veins*, résultant de cassures secondaires. On retrouve ces cassures secondaires au voisinage des gîtes stratifiés ; on conçoit, en effet, que le glissement le long d'un plan parallèle aux strates ait pu amener dans les strates adjacentes de nombreuses fractures. Celles-ci sont généralement normales aux strates dans les grès ; et leur direction ou, plutôt, leur pendage change quand la cassure passe

(*) *The Bendigo Gold Fields*, par A. RICKARD (*Transactions of American Institute of Mining Engineers*, 1891 et 1892).

des grès dans les schistes ; presque toujours la cassure s'éloigne de la normale au plan de la stratification. Un ensemble de cassures analogues à remplissage de quartz est désigné sous le nom de *make of spurs*. S'agit-il de veines partant d'un gîte anticlinal ou, d'une manière générale, partant d'un gîte principal, d'un *main reef*, on les appelle *feeders* (*fig.* 9). Si le réseau de fractures est indépendant d'un gîte principal, s'il constitue à lui seul un gîte exploitable, on lui donne le nom de *stockwerk*.

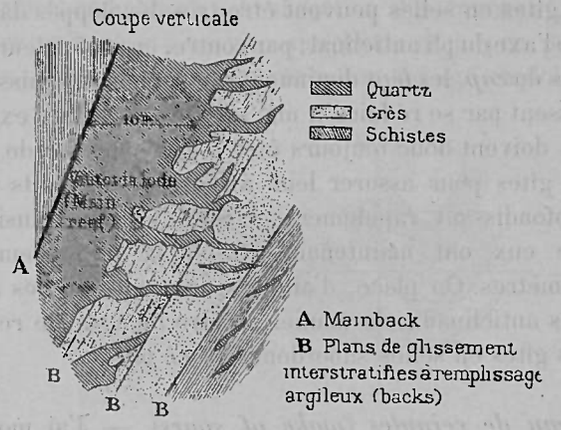


Fig. 9.

Mine *Hercules and Energitic*. Réseau de veinules au voisinage de *Victoria lode*. Coupe verticale en travers (d'après M. A. Rickard).

Couches imprégnées (*lodes*). — Enfin, une autre variété de gîtes est formée par les *lodes*. On appelle ainsi tout gîte puissant, en particulier une couche de grès ou de schistes où le nombre des cassures provoquées par les mouvements et ultérieurement remplies de quartz est suffisamment grand pour que la couche soit exploitable.

Tel est le cas à la mine *Hercules and Energitic* à Long Gully. Le gîte est formé par une couche de grès recoupée par une multitude de fissures remplies de quartz (*fig.* 9).

Cette couche est au contact d'une fissure interstratifiée ayant amené un glissement, d'où résulte une véritable éponte bien définie qui sert de guide dans les travaux. La puissance exploitable est quelquefois supérieure à 10 mètres. Au niveau de 1.060 pieds (*fig.* 10), au-dessous d'une faille qui rejette le gîte, on a rencontré une région extrêmement riche d'où l'on a extrait 50 tonnes de minerai à la teneur de 1.400 grammes à la tonne. A très peu de distance de ce point riche, et sans que l'apparence du quartz ait pu le faire prévoir, le minerai était, au contraire, assez pauvre.

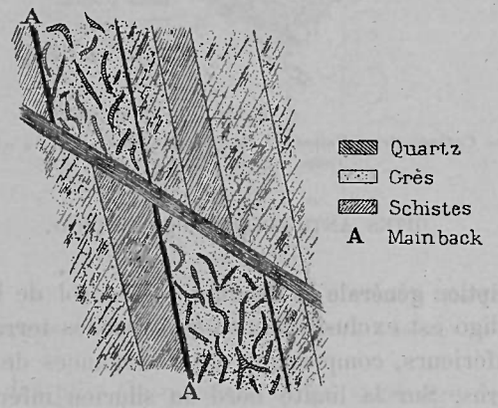


Fig. 10.

Mine *Hercules and Energitic*. *Victoria lode* au niveau de 1.060 pieds. Coupe verticale en travers (d'après M. A. Rickard).

Le gisement exploité par la mine *Catherine reef United*, à Eaglehawk, peut aussi être assimilé à un *lode*. Un réseau de fractures irrégulières recoupe toute une série de couches de grès et de schistes, parmi lesquelles la plus riche est une couche de grès de 12 mètres de puissance (*fig.* 11). Lorsqu'une veine recoupe les schistes et les grès, on constate que, dans les schistes, elle suit à peu près le clivage des schistes ; dans les grès, elle est normale à la

stratification. C'est, d'ailleurs, une loi générale dans tout le district de Bendigo.

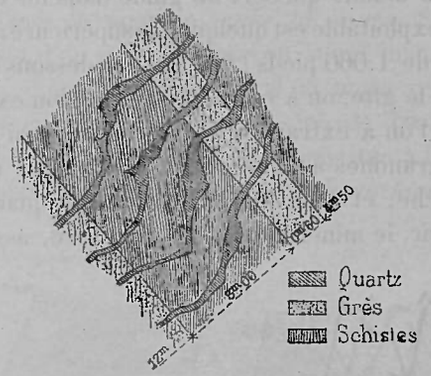


Fig. 11.

Mine *Catherine reef United*. Veinules dans les grès et dans les schistes. Coupe verticale en travers.

GÎTES ANTICLINAUX DE BENDIGO.

Description générale de Bendigo. — Le sol de la région de Bendigo est exclusivement formé par les terrains siluriens inférieurs, comprenant des alternances de schistes et de grès. Sur la limite nord du silurien inférieur, les granites du mont Hope ont soulevé les schistes cristallins qui forment la chaîne des monts Alexander, chaîne qui sépare le district de Bendigo du district de Castlemaine. La direction des strates varie de N.20°O. à N.35°O. Au voisinage de Bendigo, les couches siluriennes ont été ondulées et plissées, et il en résulte toute une série de plis anticlinaux et synclinaux. On constate sur le plan (*fig.* 1, Pl. IX) que les gîtes aurifères forment une longue bande comprise entre des zones ne renfermant que des quartz stériles.

La zone aurifère comprend un grand nombre de gîtes, tous parallèles en direction. On ne compte pas moins de

onze lignes de *reefs*, correspondant chacune à un pli anticlinal ; trois d'entre elles ont une importance beaucoup plus grande que les autres ; on les connaît sous les noms de *New Chum*, *Garden Gully*, *Fortuna Hustler's*. La première a été suivie par des travaux sur une longueur de 22 kilomètres ; la seconde, sur 14 kilomètres ; et la troisième, sur 10 kilomètres environ. La *fig.* 11 représente une coupe verticale idéale perpendiculaire à la

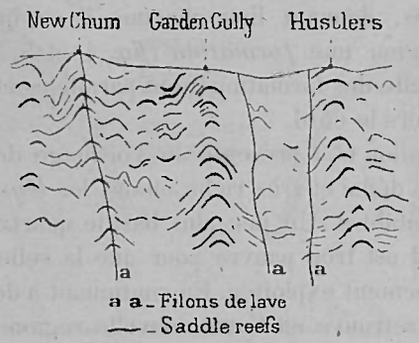


Fig. 12.

Coupe verticale idéale des *reefs* de Bendigo normale à la direction des plis.

direction des plis. On constate qu'au voisinage des trois plis principaux existent des dykes de laves désignés sous le nom de *lava streaks*. Bien postérieures à la formation des gîtes, puisqu'elles sont assimilables aux laves pliocènes, ces roches n'ont pas d'influence sur la distribution de l'or.

Le nombre des gîtes exploitables comptés sur une même verticale varie d'un point à un autre. A la mine *New Chum and Victoria*, on a recoupé plus de trente selles jusqu'à la profondeur de 750 mètres. On estime à dix le nombre des selles exploitables, sur la ligne de New Chum, jusqu'à 650 mètres ; et à deux seulement sur la ligne de Garden Gully. Certaines selles constituent, d'ailleurs, à elles seules, des gîtes très importants ; c'est ainsi

que l'on cite l'exemple d'une selle, à la mine *Garden Gully United*, qui a été exploitée en direction sur plus de 600 mètres et qui a donné en 14 ans 13 tonnes d'or.

Mine South New Chum. — Parmi les mines qui ont rencontré des gites anticlinaux affectant une forme régulière, je citerai la mine « *South New Chum* », sur le pli anticlinal *New Chum*, située à la limite sud du district, à 5 kilomètres de *Victoria Hill*. On a rencontré là trois selles superposées, donnant lieu chacune à ce qu'on appelle dans la région une *formation* (*fig.* 4 et 5, Pl. X). Les lignes de faite des formations sont parallèles et ont un fort pendage vers le nord.

La formation n° 1 présente au voisinage de la surface un *cap* bien défini et très riche en or ; les *legs* sont également exploitables. Un peu plus bas, le quartz s'appauvrit et, en B, il est trop pauvre pour que la selle puisse être avantageusement exploitée. En continuant à descendre sur le *cap*, on retrouve en C une nouvelle région riche.

La formation n° 2 présente des alternances analogues de régions riches et de régions pauvres. En C, le *cap* est irrégulier, le toit du gite s'est effondré, le quartz est en très petite quantité, et les *legs* sont réduites à de simples traces, sans remplissage de quartz. En D le *cap* est exploitable ; les *legs* sont très pauvres ; le gite s'enrichit entre les niveaux de 170 pieds et de 280 pieds, et l'une des *legs*, celle de l'ouest, est exploitable. Au-dessous du niveau de 180, la selle devient de nouveau irrégulière et inexploitable.

La *fig.* 12 montre la forme de la selle au niveau de 170 pieds. Le mur du gite est formé par une strate de schiste de $0^m,60$ à 1 mètre d'épaisseur seulement reposant sur des couches de grès ; le toit consiste en grès dur. Sur la droite de la figure, on constate que l'une des *legs* se prolonge au-dessus de la selle par une fracture ou faille

qui affecte les grès du toit. Il paraît y avoir eu glissement le long de cette faille, et il en est résulté, au-dessus du gite, une région G, formée d'un chapeau de roche encaissante plus ou moins broyée, surtout de schiste, contenant une assez grande quantité de pyrite, mais trop pauvre en or pour être exploitée.

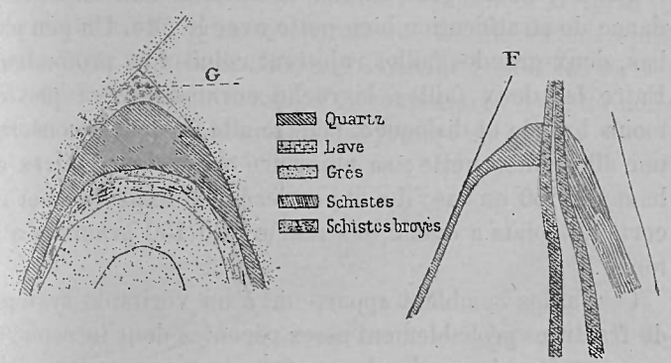


Fig. 12. Niveau de 170 pieds. — Fig. 13. Niveau de 550 pieds.
Mine *South New Chum*. Coupes verticales en travers.

On trouve dans cette mine les dykes de lave, véritables filons rocheux, qui suivent à peu près le plan vertical de l'axe anticlinal de New Chum. Par exemple au niveau de 550 pieds à l'est, on rencontre, dans le voisinage immédiat de l'axe du pli, deux dykes dont l'épaisseur varie de $0^m,45$ à $0^m,50$ et qui se rejoignent en ce point (*fig.* 13). La troisième formation consiste là en une selle incomplète, dont une moitié seulement est à remplissage de quartz. L'autre moitié est formée de roche encaissante plus ou moins broyée, contenant des veinules de quartz. La partie ouest est, d'ailleurs, accompagnée d'une faille F qui se prolonge au-dessus de la selle.

Mine Unity. — Très souvent les gites n'affectent pas une

pareille régularité, les versants des plis anticlinaux offrent des rejets dus à des failles, et il en résulte des accidents qui viennent compliquer les travaux de recherche. Tel est le cas à la mine *Unity*, située sur le pli anticlinal de Garden Gully (*fig.* 3, Pl. X). Le *cap* de la selle du niveau 183 pieds présente la structure en arche parfaitement régulière, et les grès du toit et du mur sont en concordance de stratification bien nette avec le gîte. Un peu plus bas, deux grandes failles rejettent celui-ci en profondeur. Entre les deux failles, la roche encaissante est plus ou moins broyée et disloquée, mais le gîte de quartz conserve une allure bien nette ; sa puissance varie de 4 mètres en haut à 1^{m},50 en bas ; il a été entièrement exploitable et en certains points a donné des teneurs de 150 grammes à la tonne.

Ces failles semblent appartenir à un véritable système de fractures probablement assez récentes dont le remplissage est formé par des laves. On constate que la roche, après avoir suivi la faille F, se redresse verticalement dans une fracture qui suit à peu près le milieu du gîte, et en sort vers le sommet de la selle. De même, dans la faille F′, le remplissage rocheux s'interrompt à la rencontre avec une autre fracture presque verticale que la roche a suivie.

Au niveau de 451 pieds, une selle secondaire est également traversée en son sommet par un filon de lave.

Au niveau de 183 pieds, l'épaisseur du filon rocheux varie de 0^{m},30 à 0^{m},50. Au niveau de 294 pieds, dans la faille F′, l'épaisseur est seulement de 0^{m},10 ; et le filon qui recoupe la selle secondaire du niveau de 451 pieds n'a que 0^{m},22.

Accidents. — On conçoit que les gîtes en selles, résultant du décollement de couches stratifiées puissent présenter une infinité d'accidents et de particularités. C'est ainsi que le décollement s'est quelquefois effectué d'un seul côté du

pli anticlinal ; et, en même temps que le décollement, il peut y avoir eu glissement des strates l'une sur l'autre. Le gîte se réduit alors à une portion de couche, et prend le nom de *back* ou de *leader*. Un pareil gîte a été rencontré, à la mine *Johnson*, sur le pli anticlinal de Garden Gully, à la profondeur de 300 mètres ; et a été exploité sur 100 mètres de long et 30 mètres de hauteur. La teneur a varié de 5 grammes à 15 grammes par tonne. Le glissement a produit au toit (*fig.* 6, p. 360) une salbande bien nette formée par une épaisseur d'environ 5 centimètres d'argile noire qui se continue bien au-delà des limites du gîte.

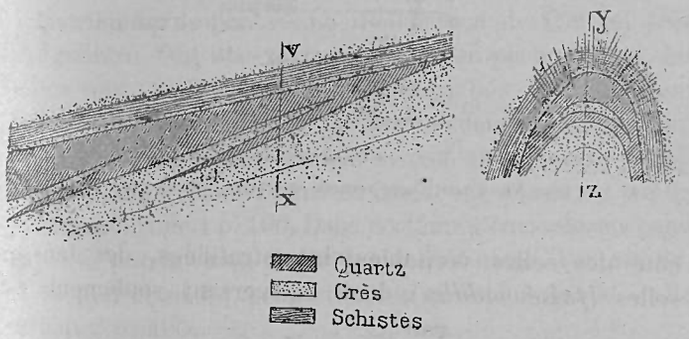


Fig. 14.
Mine *Great Extended Hustlers* au niveau de 1.700 pieds.
Coupes verticales en long par *xy* et en travers par *vx*.

Je citerai encore le cas de selles secondaires produites par des décollements de faible étendue dans les strates du mur, au sommet de la selle principale. C'est ce que l'on observe à la mine *Great Extended Hustlers*, sur le pli anticlinal *Hustlers*, au niveau de 1.700 pieds. La *fig.* 14 montre deux coupes verticales, l'une en long par l'axe du pli, l'autre en travers normale à la précédente. Le toit de la selle principale offre là un exemple de schistosité rayonnante qui montre nettement qu'on se trouve au sommet d'un pli anticlinal.

Les gites en selle n'occupent pas, d'une manière invariable le sommet des plis anticlinaux. On rencontre à

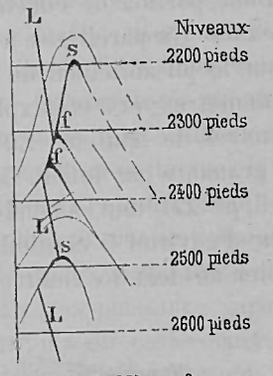


Fig. 15.

Mine *New Chum*. Coupe verticale en travers. Échelle $\frac{1}{3.200}$.

côté des selles véritables, interstratifiées, des fausses selles (*false saddles*), dont un versant seulement est

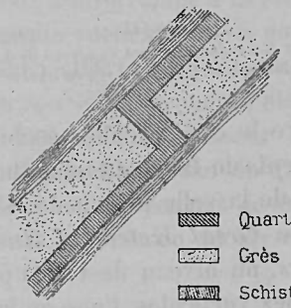


Fig. 16.

Mine *Johnson*. Au niveau de 1.260 pieds. Coupe verticale en travers.

interstratifié. Pour qu'un tel gite ait pu se produire, il a suffi qu'une cassure dans les couches soit venue recouper

un gite stratifié, par exemple un versant d'un gite anticlinal. Ces fausses selles sont fréquentes; les plans de la mine Lansell's 180, sur le pli anticlinal de New Chum, en montrent deux exemples (*fig.* 15).

Quelquefois le décollement a passé d'un côté à l'autre d'une strate, par suite d'une cassure dans cette strate. Tel est le cas, par exemple, au niveau de 1.280 pieds, à la mine Johnson. Le versant d'un gite anticlinal de $0^{m},25$ de puissance passe brusquement d'un côté à l'autre d'une couche de schiste de 2 mètres par une cassure normale à la stratification (*fig.* 16).

Distribution de l'or. — La distribution de l'or est très irrégulière. Sur une verticale, dans un pli anticlinal, les selles sont tantôt pauvres et tantôt riches. Généralement l'or est gros, et l'on trouve des pépites dont le poids atteint 30 et quelquefois 100 grammes, par exemple sur le pli anticlinal New Chum; dans ce cas, il n'y a presque pas de pyrite, moins de 1 p. 100. Dans certains gites, tels que celui exploité par la mine *Catherine reef United*, l'or est fin, et la pyrite est en proportion un peu plus grande, elle atteint 2 p. 100.

Dans une même selle, la teneur est également très irrégulière; quelquefois la plus grande richesse se rencontre au sommet de la selle; quelquefois, au contraire, le sommet est pauvre, et les versants sont riches.

La limite d'exploitabilité dépend, d'ailleurs, non seulement de la teneur à la tonne, mais aussi de la puissance du gite et surtout de la dureté du quartz. Il est à remarquer que, dans la plupart des gites, le quartz est criblé de fissures qui permettent son abatage au pic, et les explosifs n'interviennent qu'accidentellement. Dans ces conditions, on exploite encore avantageusement des gites dont la puissance est de 1 mètre, si leur teneur est seulement de 8 grammes. Sur le pli anticlinal New Chum, on a même

exploité à la profondeur de 700 mètres des quartz dont la teneur était 5^{gr},5 à la tonne.

La proportion de pyrite recueillie est en moyenne de 1 p. 100.

Mode de formation et de remplissage des gîtes en selles. — On se rend compte facilement de la formation des vides qui ont été ultérieurement remplis par les gîtes anticlinaux ; il suffit de considérer ce qui se passe lorsqu'on soumet un ensemble de feuillets fortement serrés à une pression qui s'exerce dans le sens de leur longueur. D'abord des ondulations se manifestent, puis des plis accompagnés de glissements des feuillets l'un sur l'autre, d'où résultent des décollements et des vides qui reproduisent assez bien la forme et l'allure des gîtes anticlinaux et des gîtes synclinaux.

En ce qui concerne le mode de remplissage, des géologues éminents, tels que M. Murray (*) et M. Rickard (**), admettent que les gîtes sont dus à un phénomène de ségrégation. Ils estiment que l'or préexistait dans les mers siluriennes, et qu'au moment de leur dépôt les schistes et les grès siluriens étaient déjà aurifères, l'or étant uniformément réparti dans leur masse. C'est de la filtration, à travers ces couches, d'eaux très chaudes et minéralisées par des vapeurs accompagnant des éruptions rocheuses, que seraient résultées des solutions aurifères. Précipitées ensuite dans les vides, dans les fractures, résultant de mouvements antérieurs, ces eaux auraient déposé l'or et la silice empruntés par dissolution aux schistes et aux grès. Pour expliquer la précipitation, on met en avant les fossiles, les pyrites, et aussi les éléments

(*) *Geology and physical Geography of Victoria.*

(**) *Origin of Gold bearing Quartz of Bendigo reefs. Transactions of American Institute of mining Engineers*, 1894.

hydrocarburés qui imprègnent les argiles des salbandes accompagnant les gîtes.

Cette théorie peut paraître discutable. Du moment qu'on admet l'intervention des phénomènes volcaniques pour faciliter la dissolution, par les eaux, de l'or et de la silice contenus dans les couches, pourquoi ne pas admettre que les fractures ont servi de passage à des eaux minérales tenant déjà de l'or, des sulfures, et venant directement d'en bas. Le remplissage des gîtes serait ainsi *éruptif à la manière du soufre* (Élie de Beaumont), de la même manière que les filons de lave sont, sans qu'on songe à le contester, *éruptifs à la manière des laves;* il est cependant plus difficile d'expliquer comment des fractures de quelques centimètres de puissance ont pu être remplies de bas en haut par une matière rocheuse telle que la lave. La venue des eaux minérales dans les fractures interstratifiées et dans les réseaux de veinules a dû d'ailleurs se faire par les véritables fractures filoniennes qui accompagnent toujours ces gîtes, comme on le constate à Bendigo.

TRAITEMENT DES QUARTZ AURIFÈRES.

Pilons. — Le moulin californien est employé à Ballarat et à Bendigo pour le traitement des quartz provenant des filons. Parmi les grands moulins que j'ai eu l'occasion de visiter, je citerai : le moulin de la *Star of the East Company*, à Ballarat, de 80 pilons; celui de la *New Chum Consolidated*, à Bendigo, comprenant 30 pilons ; et, enfin, le grand moulin de 150 flèches, récemment construit, à Bendigo, par M. Lansell.

Tous ces moulins sont parfaitement installés au point de vue des machines et du bocardage proprement dit; il semble qu'ils laissent beaucoup à désirer au point de vue

de la récolte des concentrés. On est, d'ailleurs, très étonné de constater que le concassage des quartz et l'alimentation des batteries sont faits exclusivement à la main : on s'explique difficilement l'absence de concasseurs mécaniques et d'alimentateurs automatiques.

Les batteries sont entièrement en fonte et en fer. Le poids des pilons varie de 360 à 430 kilogrammes. Les pilons battent 70 à 75 coups par minute avec une hauteur de chute de 20 à 24 centimètres. Le poids du quartz broyé est de 2 tonnes par flèche et par 24 heures.

La hauteur de la décharge est comprise entre 70 et 85 millimètres. Le crible de décharge est en tôle, à trous ronds; le nombre des trous varie de 20 à 28 par centimètre carré.

La décharge des pilons se fait sur des tables de cuivre amalgamé; les concentrés sont recueillis sur des *blankets* qui font suite aux tables de cuivre; après les *blankets*, viennent des tables à secousses. Le moulin de la *Star of the East Company*, à Ballarat, possède, en outre, des *frue vanners* installés après les tables à secousses.

Les moulins sont construits dans les ateliers de construction de la région, à Ballarat par exemple. Le prix de revient d'un moulin de 40 pilons est moins élevé qu'en Amérique; il varie de 150.000 à 200.000 francs, y compris la machine motrice.

Traitement des concentrés. — Les pyrites, dont la proportion moyenne est peu supérieure à 1 p. 100, sont rassemblées dans des usines de chloruration. Il y a une usine à Ballarat, une autre à Bendigo ; toutes les deux appliquent le procédé Newbury Vautin.

Les pyrites sont grillées dans des fours à soles superposées et à râbles tournants. Elles vont ensuite à la chloruration dans des barils en fer doublés de plomb intérieurement.

A l'usine de Bendigo, les dimensions du baril sont : diamètre, $1^m,37$; hauteur, $1^m,52$.

On met d'abord dans le baril une hauteur de $0^m,30$ d'eau avec 17 kilogrammes d'acide sulfurique. On charge 1.200 kilogrammes de minerai, et, au moment de fermer le trou d'homme à joint de caoutchouc, on ajoute 15 kilogrammes de chlorure de chaux. On comprime alors de l'air dans le baril jusqu'à une pression de 1 à 2 kilogrammes.

On fait tourner le baril pendant 3 heures, à raison de 7 tours par minute. La durée de la rotation varie avec la finesse de l'or.

Le minerai chloruré est vidé dans une cuve tronconique en fer, doublée de plomb, à double fond, qui sert de vase à filtration. La cuve est montée sur roues, et il y a deux cuves pour desservir un tonneau. On accélère la filtration en faisant le vide sous le faux fond.

La liqueur filtrée passe dans des cuves en bois. On y plonge des rouleaux de tuyaux de plomb perforés, et l'on fait arriver dans la liqueur de l'air comprimé destiné à chasser tout le chlore.

De là, on fait couler lentement la liqueur sur des filtres formés de vases de $1^m,30$ de haut remplis de charbon de bois. L'or est précipité sur le charbon à l'état métallique.

L'usine de Bendigo, à un seul baril de chloruration, peut traiter 35 tonnes par semaine. On prétend que le rendement en or extrait est de 90 p. 100 de l'or contenu.

TENEUR MOYENNE DES QUARTZ TRAITÉS.

La teneur moyenne des quartz traités dans la province de Victoria varie de 14 à 15 grammes par tonne. Il ne semble pas que la teneur diminue en profondeur, ni que l'or devienne plus réfractaire à l'amalgamation. Les sta-

tistiques du Service des Mines indiquent les teneurs suivantes, depuis l'année 1876 :

1876	16gr,43	1886	14gr,67
1877	14 ,61	1887	14 ,65
1878	14 ,84	1888	15 ,10
1879	13 ,63	1889	15 ,23
1880	14 ,97	1890	14 ,26
1881	13 ,67	1891	14 ,26
1882	14 ,03	1892	15 ,49
1883	14 ,84	1893	14 ,39
1885	15 ,63		

Le district où la teneur paraît la plus constante est celui de Ballarat ; le rendement des quartz varie de 10 à 12 grammes par tonne. A Bendigo, le rendement varie de 14 à 18 grammes. Dans le district de Beechworth et dans le Gippsland, les teneurs dépassent 20 grammes, mais l'or est plus difficilement amalgamable.

A mesure que les mines de quartz se multiplient, et que les gîtes sont exploités d'une manière plus régulière, les teneurs moyennes dans une région tendent, d'ailleurs, à devenir plus égales. On peut le constater par le tableau suivant, qui donne les teneurs moyennes des quartz traités à 20 années de distance.

District de Ballarat :

1860	19gr,50	1880	11gr,80
1861	12 ,44	1881	10 ,53
1862	8 ,75	1882	10 ,20
1863	7 ,65	1883	8 ,78
1864	7 ,26	1884	10 ,33
1865	8 ,03	1885	10 ,47
1866	7 ,60	1886	10 ,49
1867	10 ,76	1887	12 ,41

District de Bendigo :

1860	73gr,14	(?)	1880	16gr,76	
1861	47 ,24		1881	18 ,66	
1862	21 ,90		1882	20 ,64	
1863	41 ,47		1883	20 ,48	
1864	15 ,10		1884	17 ,75	
1865	21 ,00		1885	16 ,68	
1866	15 ,10		1886	14 ,30	
1867	14 ,13		1887	13 ,15	

Peut-être faut-il attribuer simplement à de mauvaises statistiques les inégalités que présentent les années voisines de 1860.

COMPARAISON DES GITES ANTICLINAUX DE BENDIGO AVEC LE GITE DE BROKEN HILL.

Description du gîte de Broken Hill. — Les gites de Bendigo ne sont pas les seuls représentants en Australie du type des *saddle reefs*. A la suite des levés topographiques exécutés dans les mines qui exploitent le grand gîte d'argent de *Broken Hill*, dans la Nouvelle-Galles du Sud, les ingénieurs du Service des Mines (*) ont établi, en 1892, que ce gîte était interstratifié et présentait tous les caractères des gîtes anticlinaux de Bendigo.

Je rappelle que les mines de Broken Hill produisent des minerais de plomb argentifères et des minerais d'argent proprement dits. Les travaux, qui, jusqu'à ces derniers temps, s'étaient maintenus dans des régions oxydées particulièrement riches en carbonate de plomb, ont rencontré en profondeur des sulfures de plomb et de zinc qui se sont complètement substitués aux minerais oxydés. L'affleurement du gîte principal est à peu près exclusivement com-

(*) M. Jaquet, *geological surveyor* ; et M. Pittman, *government geologist*.

posé d'oxydes de fer et de manganèse; on le suit sur une longueur de 2.500 mètres, et sa puissance varie de 6 mètres à 30 mètres. Par suite de sa dureté plus grande que celle de la roche encaissante, la masse ferrugineuse a mieux résisté aux agents d'érosion, et elle donne lieu à une colline qui a reçu le nom de Broken Hill. La roche encaissante consiste en gneiss cristallins, quartzites, schistes micacés et amphiboliques, gneiss à grenats. Sur les versants de la colline, la stratification des schistes cristallins présente des pendages inverses, et on constate l'existence d'un pli anticlinal dont l'axe coïncide avec la colline et avec l'affleurement du gîte.

A une profondeur variable suivant les points, le gîte se divise en deux branches, plongeant l'une à l'ouest, l'autre à l'est, et la puissance des branches va en diminuant avec la profondeur. Le gîte ne présente pas de salbandes aux épontes; quelquefois même il n'est pas nettement limité, et, par suite d'intrusions de la roche encaissante, probablement dues à un décollement irrégulier des strates, le passage du minerai au stérile s'effectue graduellement. Sa direction coïncide avec celle des strates, sauf en certains points, où des accidents locaux, troublant la régularité de la stratification, ont produit dans les strates des cassures dont le remplissage s'est effectué en même temps que celui du vide principal. En général, le mur est mieux défini que le toit. Ce sont bien là les caractères des *saddle reefs* de Bendigo, et on retrouve également à Broken Hill la plupart des particularités précédemment signalées à propos des gîtes anticlinaux. C'est ainsi qu'au voisinage du gîte principal de nombreuses veines, normales aux strates, semblent se détacher du gîte principal et forment des systèmes de veinules désignés sous le nom de *feeders*.

De même, surtout au sommet de la selle, au voisinage du *cap*, des décollements secondaires ont amené la formation de selles secondaires qui constituent un accident analogue à celui signalé sur le pli anticlinal *Hustlers*.

Pour compléter l'analogie avec les gîtes de Bendigo, on trouve, de chaque côté du gîte de Broken Hill, des dykes d'une roche très basique, désignée sous le nom de diorite. La direction des dykes est parallèle à celle du gîte. Une coupe théorique du gîte serait donc analogue à celle indiquée par la *fig.* 17.

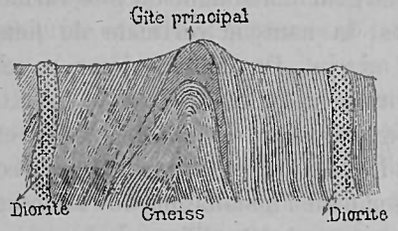


Fig. 17.
Coupe verticale idéale du gîte de Broken Hill.

Étant donnée la puissance du gîte, on conçoit que la largeur de l'affleurement varie avec la profondeur plus ou moins grande du mur du sommet anticlinal. Comme le versant Ouest du gîte est beaucoup plus important que le versant Est — et des inégalités semblables existent dans les *legs* des gîtes de Bendigo — lorsque le *cap* de la selle remonte suffisamment, il arrive que le versant qui s'étend le moins profondément disparait totalement, enlevé par les érosions, et, en ces points, le gîte se réduit à une seule branche, analogue à un filon, ou plutôt identique aux gîtes stratifiés désignés à Bendigo sous le nom de *leaders*. C'est, en effet, ce qu'on constate sur les sections données par MM. Jaquet et Pittman (*fig.* 2 à 12, Pl. XI).

Au voisinage du gîte principal, désigné sous le nom de *Broken Hill Lode*, des gîtes moins importants, désignés sous les noms de *Eastern Lode*, *North Eastern Lode*,

Western Lode, ont été également exploités. Tous ces gîtes sont interstratifiés, et il n'est pas douteux qu'ils appartiennent à d'autres gîtes en selles, peut-être sur le même pli anticlinal, gîtes dont le sommet a été enlevé par les érosions et dont il ne subsiste plus que la partie inférieure des versants.

Le gîte de Broken Hill diffère des gîtes de Bendigo par sa puissance et par son remplissage. A la naissance des *legs*, la largeur horizontale du gîte varie de 30 mètres à 100 mètres; la hauteur verticale du minerai au *cap* atteint 150 mètres. De telles puissances expliquent les quantités énormes de minerai qui ont été extraites depuis la mise en exploitation du gîte, en 1885, et on se rend compte que la seule mine *Broken Hill Proprietary* ait pu immobiliser dans l'installation des mines et des usines un capital supérieur à 12 millions de francs.

Nature des minerais exploités à Broken Hill. — Pour compléter les indications précédemment données sur les gîtes de Broken Hill, il n'est pas sans intérêt d'ajouter ici quelques renseignements sur les minerais qui forment le remplissage du principal gîte.

Depuis la surface, les exploitations ont successivement rencontré: un chapeau de fer, des minerais carbonatés, des minerais sulfurés.

Chapeau de fer. — Le chapeau de fer est un mélange intime de *limonite* et de *psilomélane*, associé avec du quartz. L'oxyde de fer est en quantité plus que suffisante pour saturer la silice, et ce minerai est un excellent fondant. On le trouve jusqu'à une profondeur comprise entre 10 mètres et 17 mètres. De nombreuses cavités sont tapissées de chlorures, d'iodures et de carbonates de plomb et d'argent.

La teneur en argent varie de 60 grammes à 900 grammes par tonne ; celle en plomb varie de 10 à 25 p. 100.

Minerais carbonatés. — Les minerais carbonatés, surtout formés de carbonate de plomb, vont jusqu'à la profondeur de 80 à 100 mètres. Dans les parties hautes, la cérusite est relativement rare ; le minerai, à gangue de quartz et d'argile, avec plus ou moins d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse, est pauvre en plomb, bien que sa richesse en argent soit comprise entre 150 grammes et 1.250 grammes à la tonne.

Puis, le minerai s'enrichit en profondeur en plomb et en argent. Les minerais riches en plomb dominent dans la région nord-est ; les minerais très riches en argent sont plutôt dans la région sud-ouest. Les premiers, formés par du *carbonate de plomb* à gangue quartzo-alumineuse, tiennent, en outre, une certaine proportion d'argent à l'état d'argent natif, de chlorure et de bromure ; leur teneur en plomb varie de 20 à 26 p. 100, et celle en argent, de 150 grammes à 2.500 grammes à la tonne. Les seconds consistent surtout en kaolin, avec grenats et quartz, très riches en minéraux d'argent. On y trouve de l'*argent natif*, de l'*embolite* et en plus faible proportion de l'*iodyrite* et de la *cérargyrite*. Leur teneur en plomb est seulement de 3 p. 100; mais leur richesse en argent, qui ne descend pas au-dessous de 150 grammes à la tonne, s'élève souvent à 10 kilogrammes.

Minerais sulfurés. — Lorsque la variété kaolineuse des minerais oxydés surmonte directement la partie du gîte non altérée et encore à l'état de sulfure, il existe au contact une mince couche de sulfures noirs, pulvérulents, d'aspect assez analogue à de la suie, d'où le nom de *sooty sulphide ore*, dont la teneur en argent est la plus constante et la plus élevée. Cette substance noire, surtout formée

par des sulfures d'argent et de cuivre, paraît résulter d'un phénomène de précipitation de l'argent et du cuivre dissous dans les régions hautes par les sulfures non décomposés. Sa teneur atteint le plus souvent 8 kilogrammes d'argent par tonne. On y trouve aussi 10 à 12 p. 100 de cuivre.

Au dessous, le remplissage normal du gite consiste en un mélange intime de *galène* et de *blende* à grains fins. La gangue est formée de *quartz* et de *grenats* et, en certains points, de feldspath, dont la présence explique la production des minerais oxydés à base de kaolin. La *pyrite de fer* est également associée à la blende et à la galène; et on a signalé aussi la présence peu fréquente de *pyrite de cuivre*, de *mispickel*, de *wulfénite* et de *spath-fluor*.

Les minerais sulfurés contiennent : plomb, 7 à 50 p. 100; zinc, 14 à 30 p. 100; argent, 150 à 1.100 grammes par tonne; or, 5 grammes par tonne.

BÉNÉFICES RÉALISÉS PAR LES SOCIÉTÉS DE MINES.

Les renseignements que nous possédons sur les Sociétés de Mines de la province de Victoria ne sont pas très récents, car notre voyage en Australie remonte déjà à l'année 1894; nous croyons néanmoins intéressant de les faire connaître ici.

Sociétés de Mines d'or. — Les principales Sociétés de Mines sont, en général, constituées par actions dont la valeur nominale est comprise entre 12f,50 et 1.000 francs et est le plus souvent de 25 francs ou de 50 francs. Les actions sont rarement entièrement libérées; quelquefois 1/4 seulement a été versé lorsque la société a commencé à donner des dividendes. Il existe même à Bendigo une

Société (*Ex. S. Devonshire*) où l'on s'est contenté d'appeler 0f,15 par action de 25 francs. Le capital n'est demandé aux porteurs d'actions qu'au fur et à mesure que les travaux de premier établissement l'exigent; les appels (*calls*) se font par schillings, souvent même par quelques pences.

Les dividendes payés, en 1892, se sont élevés pour les mines d'or de la province de Victoria à 14.600.000 francs et, en 1893, à 15.400.000 francs, ce qui représente par kilogramme d'or extrait un dividende de 700 francs en 1892, et de 730 francs en 1893.

Ce chiffre est beaucoup plus élevé et atteint plus du double dans les principales Sociétés, dont le tableau ci-après indique les dividendes totaux et les dividendes par kilogramme d'or produit, pour l'année 1893.

1° *Sociétés exploitant des quartz.*

NOMS	POINT où sont situées les mines	PRODUCTION en kilogrammes	DIVIDENDE total (en francs)	DIVIDENDE par kilogramme d'or produit (en francs)
Johnson's Reef	Eaglehawk	663	1.120.000	1.690
Star of the East	Ballarat	691	960.000	1.390
Long Tunnel	Walhalla	600	655.000	1.090
New Red, White and Blue	Bendigo	419	567.500	1.350
New Mariners	Steiglitz	255	515.625	2.020
Black Horse United	Egerton	331	512.500	1.550
Princess Dagmar	Eaglehawk	508	501.350	1.000
South German	Maldon	310	480.000	1.550
Long Tunnel Extended	Walhalla	387	384.000	1.000

2° *Sociétés exploitant des alluvions.*

NOMS	POINT où sont situés les placers	PRODUCTION en kilogrammes	DIVIDENDE total (en francs)	DIVIDENDE par kilogramme d'or produit (en francs)
Madame Berry	Smeaton	501	765.000	1.527
Berry Consols	Smeaton	634	912.500	1.440
Great Northern Extended	Rutherglen	241	450.000	1.310

Les régions de Ballarat et de Bendigo sont de beaucoup celles où la production de l'or est la plus considérable ; les dividendes distribués, en 1893, ont été de 5.142.400 francs à Ballarat et de 5.240.500 francs à Bendigo.

Cette dernière région est la plus intéressante à considérer pour se rendre compte des résultats obtenus dans l'exploitation des quartz. Par suite de la manière d'être des gîtes anticlinaux, les diverses mines ont passé par des alternatives de dividendes et de nouveaux appels de fonds. C'est à M. George Lansell, l'un des plus importants propriétaires de mines de Bendigo que revient l'honneur d'avoir poussé les travaux jusqu'à la profondeur de 1.000 mètres et d'avoir montré qu'on devait atteindre de nouveaux gîtes anticlinaux en approfondissant suffisamment les puits. Il est regrettable que les concessions de mines aient été données à l'origine avec de trop faibles superficies, car la multiplicité des puits qui en résulte vient, à cette profondeur, lourdement grever les frais d'exploitation et les frais de premier établissement.

Nous donnons ci-après, pour la région immédiatement voisine de Bendigo, les sommes versées par les actionnaires des Sociétés de Mines depuis 1871, et immobilisées dans les installations; les dividendes distribués annuellement sont également indiqués.

ANNÉE	CAPITAL APPELÉ (en livres sterling)	DIVIDENDES DISTRIBUÉS (en livres sterling)	ANNÉE	CAPITAL APPELÉ (en livres sterling)	DIVIDENDES DISTRIBUÉS (en livres sterling)
	£	£		£	£
1871	232.421	434.276	1882	208 260	333.472
1872	360.300	683.140	1883	196.395	320.731
1873	234.066	628.066	1884	154.697	318.048
1874	188.384	500.615	1885	131.530	286.366
1875	110.859	342 865	1886	133.721	191.321
1876	104.007	404.695	1887	131.794	134.920
1877	67 969	143 015	1888	172.055	178.800
1878	61.182	204.325	1889	134 489	118.473
1879	59.698	169.635	1890	111.142	149.381
1880	83.793	214.552	1891	114.870	148.136
1881	202.909	250.717	1892	132.118	268.263

Lorsqu'on fait le total des chiffres précédents on trouve que, de 1871 à 1893, le capital appelé a été d'un peu plus de 83 millions de francs, et que les dividendes se sont élevés à environ 161 millions de francs.

Dans les 22 années antérieures à 1892, le capital engagé dans les entreprises minières a donc touché environ 200 p. 100 de dividendes.

Les diverses Sociétés sont, comme on doit le penser, loin d'avoir présenté des résultats identiques. Dans une région où les gîtes présentent des irrégularités aussi grandes que celles de Bendigo, à côté de mines extrêmement riches, d'autres mines, très voisines, n'ont rencontré que des veines courtes, irrégulières, pauvres, et, découragées par les premiers insuccès, ont abandonné complètement leurs travaux. Les capitaux ainsi immobilisés ont été comptés dans le tableau précédent.

Si l'on considère spécialement l'année 1892, on constate qu'à Bendigo, sur 171 Sociétés de Mines, 37 seulement ont donné des dividendes; 134 ont fait des appels de fonds pour étendre leurs travaux de recherches ou s'outiller pour de plus grandes profondeurs. Les premières ont distribué près de 7 millions de francs de dividendes, les secondes ont demandé à leurs actionnaires le versement d'un peu plus de 3 millions.

Par suite de l'exiguïté des concessions, les Sociétés de Mines sont à capital assez faible. Pour la plupart d'entre elles le capital nominal est seulement de 1 million de francs, quelquefois moins; quelques-unes seulement ont un capital de 4 à 5 millions de francs.

Le tableau suivant montre l'importance des principales Sociétés de Bendigo et indique, pour chacune d'elles, le capital effectivement versé et les dividendes distribués depuis l'origine.

NOMS DES SOCIÉTÉS	NOMBRE DES ACTIONS
Belmont and Saxby	30 000
Catherine Reef	67.000
Confidence Extended	42.000
Cornish United	800
Ellenboro'	24.000
Ex. S. Devonshire	24.000
Eureka Extended	30.000
Frederik the Great	26.000
Garibaldi	28.000
Garden Gully United	33.517
Golden Pyke	56.000
Great Extended Hustler's	34.000
Hercules and Energitic	30.000
Hustler's Reef	50.000
Johnson's Reef	24.000
Johnson's Reef Extended	28.000
Lady Barkly	24.000
Lazarus C°	45.000
Lazarus n° 1	45.000
Londonderry	800
New Argus	30.000
New Chum and Vic	25.000
New Chum Consolidated	28.000
N. C. United	29.500
N. C. Railway	36.890
New St-Mungo	24.000
New Hopeful	24.000
New Moon	24.000
New Red, White and Blue	45.000
North Johnson's	26.000
North Old Chum	27.000
North Shenandoah	24.000
Old Chum	27.000
Princess Dagmar	31.458
Rose of Denmark	24.000
Sadowa	32.000
Shamrock C°	30.000
Shenandoah	32.000
Specimen Hill United	40.000
St-Mungo	32.000
South Devonshire	24.000
United Devonshire	28.000
U. Hustler's et Redan	48.000
Victoria Reef Quartz	32.000

VALEUR NOMINALE D'UNE ACTION (en livres et shillings)	SOMME VERSÉE PAR ACTION (en livres et shillings)			DIVIDENDES PAYÉS (en livres sterling)	TOTAL DES DIVIDENDES rapporté au capital versé
£	£	sh.	d.	£	
1	0	4	0	105.750	0,
2	1	4	6	58.175	0,66
20/		9	6	25.500	1,26
40	26	5	0	15 000	0,71
1	0	15	9	76 000	4,08
1	0	0	1 1/2	9.600	6,66
3	1	4	0	17.509	0,50
10/	0	2	0	28.275	10,50
2	1	18	6	47.950	0,88
1	0	12	11	882.644	42,00
2	1	4	9	32.783	0,48
2	1	16	0	995.100	16,30
2	0	12	6	74.625	4,00
4	2	10	0	25.300	0,20
55/	2	9	6	239.950	3,45
1	0	5	0	18.866	3,20
1	0	14	6	67 115	3,86
1 1/2	1	8	0	86.675	1,40
1 1/2	1	8	6	101.812	1,54
25	6	0	0	20.800	0,39
1	0	7	2	37.375	3,26
	0	14	0	112.037	6,40
30/	0	14	0	137.200	7,00
10/	0	6	0	113.941	12,70
1	0	17	0	78.852	2,50
1	0	11	6	19 500	1,40
10/	0	4	6	11.100	1,90
10/	0	3	0	6 300	1,70
2	0	1	0	70.875	30,00
1	1	8	0	142.325	3,85
2	1	2	0	86.400	2,90
2	0	6	0	66.900	5,60
2	0	8	0	90.112	8,00
2	0	12	6	36.176	1,70
1	0	5	6	66.000	10,00
1	0	7	9	60.000	4,90
1	0	17	0	17.250	0,66
1	0	19	6	60.400	2,00
10/	0	4	9	44.750	4,70
1	0	8	1 1/2	32.100	2,50
1	0	14	9 1/2	32.270	1,70
1	0	7	6	226.600	21,60
2	0	8	0	135.595	7,50
2	1	8	0	17.200	0,35

« *Broken Hill Proprietary C°* » *à Broken Hill* (*Nouvelle-Galles du Sud*). — L'histoire de cette Société, qui exploite maintenant le gîte d'argent de Broken Hill avec des Sociétés filiales, est assez curieuse et donne une idée des principes d'après lesquels agissent les Anglais dans la création des affaires industrielles.

C'est en septembre 1883 qu'un stockman, Charles Rasp, de la station de Mount Gipps, découvrit l'énorme chapeau de fer qui forme la colline de Broken Hill et prit possession d'une superficie de 40 acres, croyant que le minerai contenait uniquement de l'étain. A son retour à la station, il avisa le directeur, M. M^c^ Culloch, de sa découverte, et les habitants de la station, au nombre de 7, formèrent un syndicat en apportant chacun 70 £. On demanda un permis pour la prise de possession de Rasp et pour six autres *claims* de 40 acres chacun. Des recherches pour étain furent faites sans succès, et quelques-uns des associés, perdant confiance, vendirent leur part aux autres. Pour se procurer de l'argent, ceux-ci étendirent leur syndicat à 14 personnes, et les travaux furent continués peu activement jusqu'en 1884, époque à laquelle on découvrit les chlorures de plomb et d'argent, au puits Rasp, à 30 mètres de profondeur. Mais on se trouvait là par hasard sur une des parties les plus pauvres de l'affleurement, et, pendant quelque temps, la teneur du minerai fut seulement de 300 à 400 grammes d'argent par tonne.

Les parts avaient alors peu de valeur, et certains associés les vendirent pour quelques livres. Six ans après, les mêmes parts valaient, en y comprenant les dividendes distribués, £ 1.250.000 (plus de 31 millions de francs).

C'est en août 1885 que fut constituée la grande Société de Broken Hill sous la raison sociale *Broken Hill Proprietary Silver Mining Company*. Le capital social comprenait 16.000 actions de £ 20. Les 14 porteurs de parts recevaient, chacun, 1.000 actions, libérées de £ 19. Les

2.000 autres actions étaient offertes au public pour £ 9, et, après le versement de cette somme, elles étaient considérées comme libérées de £ 19.

Toutes les actions n'étaient donc plus susceptibles que d'un appel de £ 1.

En plus des actions, on payait aux premiers porteurs de parts £ 3.000 pour les indemniser des travaux antérieurement faits. Le capital versé, de £ 18.000 (450.000 francs), se trouvait ainsi réduit à £ 15.000 (375.000 francs), et c'est avec des disponibilités aussi réduites que furent activement poussées l'installation des mines et celles des usines de fusion, d'amalgamation et de chloruration. On a essayé, en effet, simultanément, ces divers procédés de traitement, et il ne semble pas que, sous ce rapport, on ait procédé avec toute la prudence et toute l'économie désirables.

Quoi qu'il en soit, au 31 janvier 1889, une assemblée extraordinaire des actionnaires porta le nombre des actions de 16.000 à 160.000, en divisant chaque action de £ 20 en 10 actions de £ 2, libérées de £ 1 : 18 sh.

Au 3 janvier 1890, une autre assemblée décida de porter le nombre des actions de 160.000 à 800.000, en réduisant chacune de £ 2 à 8 shillings, et d'émettre 160.000 actions nouvelles.

Les dividendes distribués de 1885 à 1892 se sont élevés à £ 3.896.000 (près de 98 millions de francs).

Pendant ce temps, plusieurs Sociétés filiales furent créées à côté de la *Broken Hill Proprietary C°*. En 1886 et 1888, celle-ci vendit plusieurs de ses claims qui furent acquis :

1° Le *block* 14, par la *Broken Hill Proprietary Block* 14 *Silver Mining C°*, au capital de £ 500.000, divisé en 100.000 actions qui furent émises au prix de £ 4 : 10 sh. Là-dessus, 96.000 actions revinrent à la Société qui apportait les claims ; 4.000 seulement furent effectivement émises dans le public, et formèrent le capital disponible de la nouvelle Société.

2° Les *blocks* 15 *et* 16, par la *British Broken Hill Proprietary C°*, dont le capital nominal était de £ 1.320.000, le capital effectivement souscrit étant de £ 1.200.000. En échange de son apport, la Compagnie mère reçut £ 400.000 en actions et £ 576.000 en espèces au comptant.

3° Le *block* 10, par la *Broken Hill Proprietary Block* 10 *C°*, au capital de £ 1.000.000 en 100.000 actions de £ 10. L'apport de la Compagnie mère fut fait en échange de 96.000 actions.

On peut se rendre compte de l'importance des bénéfices réalisés par la *Broken Hill Proprietary C°* en examinant le tableau ci-contre, qui résume les chiffres portés aux bilans publiés chaque semestre par la Société, et montre la valeur des métaux extraits par tonne en regard du prix de revient.

En 1892, bien que la production ait notablement augmenté, on constate, par suite de la baisse des métaux, une diminution d'environ 30 p. 100 dans le bénéfice réalisé par tonne de minerai. Pour maintenir ses dividendes, la Compagnie s'est vue dans l'obligation d'augmenter beaucoup sa production ; celle-ci s'est élevée, en 1893, à 642.822 tonnes représentant une valeur de £ 2.167.635 (plus de 54 millions de francs).

SEMESTRE commençant le	MINERAI traité (tonnes)	ARGENT produit (kilog.)	PLOMB produit (tonnes)	TENEUR en argent par tonne (grammes)	TENEUR en plomb (p. 100)	VALEUR des métaux extraits par tonne (francs)	PRIX de revient moyen par tonne de minerai (francs)	BÉNÉFICE net par tonne (francs)	Dividendes £	Amortissement £	Premier établissement £
1885 30 novembre.	48	1.107	»	23.076	»	»	»	»	»	»	2.852
1886 31 mai.....	1.103	4.497	»	4.744	»	»	»	»	»	»	18.737
30 novembre.	10.397	27.010	1.990	2.384	19	376,00	169,15	206,85	48.000	»	10.612
1887 31 mai.....	18.410	25.985	2.836	1.400	16	277,70	190,50	87,20	80.000	5.060	19.701
30 novembre.	28.800	39.425	6.511	1.368	23	249,35	145,40	103,95	96.000	7.943	35.361
1888 31 mai.....	39.789	40.810	6.773	1.275	17	234,35	113,00	121,35	152.000	9.876	49.479
30 novembre.	54.336	71.233	9.885	1.306	18	235,70	109,45	126,25	192.000	11.788	47.665
1889 31 mai.....	68.545	83.276	11.417	1.213	17	243,75	107,00	106,75	240.000	13.475	54.337
30 novembre.	88.639	103.427	13.639	1.182	15	210,10	94,65	115,45	368.000	40.647	42.959
1890 31 mai.....	103.399	119.900	15.400	1.154	15	210,90	97,50	113,40	464.000	45.596	44.827
30 novembre.	103.942	120.436	14.938	1.151	14	233,75	107,15	126,60	528.000	22.809	46.183
1891 31 mai.....	138.645	152.954	24.222	1.088	17	204,65	98,20	106,45	576.000	22.526	19.980
30 novembre.	147.473	155.400	17.465	1.057	12	197,60	90,20	107,40	576.000	22.845	45.718
1892 31 mai.....	180.852	178.965	26.843	995	15	164,85	92,60	72,25	576.000	26.678	43.174
Totaux.....	984.349	1.135.537	151.943	»	»	»	»	»	3.896.000	231.246	471.322

TABLE DES MATIÈRES.

I. Généralités sur les mines de l'Australie 315
Importance de l'industrie minérale en Australie. — *Charbon, or, argent* 315
Conditions économiques. — *Grèves, salaires* 318
Développement rapide des mines d'or de la province de Victoria, *Ballarat* et *Bendigo* 321
II. Géologie générale de la province de Victoria 323
Division des étages géologiques 323
Période primitive. — *Schistes cristallins. — Granites* ... 325
Ère primaire 328
Période silurienne 328
— dévonienne 330
Ère secondaire 333
Ère tertiaire 334
Période oligocène 334
— miocène 335
— pliocène 337
Ère récente 339
Période quaternaire 339
Roches éruptives 339
Roches de l'ère primaire 340
Roches postérieures à l'ère secondaire 341
III. Étude des gites d'or 342
1° Alluvions aurifères, ou placers 342
Placers miocènes 344
— pliocènes. — *Placers de Ballarat; teneur moyenne et limite d'exploitabilité* 344
Placers quaternaires. — *Placers de Bendigo* 348
Or gros. — Pépites. — Nuggets 350
2° Gites de quartz aurifères 353
Roche encaissante 353
Remplissage 353
Distribution de l'or 354
Allure des gites 356
Gites filoniens proprement dits 356
Gites de Bendigo. — *Filons-couches. — Gites anticlinaux (saddle reefs). — Gites synclinaux (inverted saddles). — Réseaux de veinules (make of spurs). — Couches imprégnées (lodes)* 360

3° Gites anticlinaux de Bendigo 366
Description générale de Bendigo 366
Mine South New Chum 368
Mine Unity 369
Accidents des gites 370
Distribution de l'or. — Teneur des quartz 373
Mode de formation et de remplissage des selles 374
4° Traitement des quartz aurifères 375
Pilons 375
Traitement des concentrés 376
Teneur moyenne des quartz traités 377
IV. Comparaison des gites de Bendigo avec le gite d'argent de Broken Hill 379
Description du gite de Broken Hill 379
Nature des minerais 382
V. Bénéfices réalisés par les Sociétés de Mines. — *Sociétés de Mines d'or. — Broken Hill Proprietary C°* 384

DISCOURS

PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES

DE M. MASSIEU

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

le 8 février 1896.

DISCOURS DE M. ORSEL

Inspecteur général des Mines,
Vice-président du Comité de l'exploitation technique des Chemins de fer.

Messieurs,

C'est avec une grande émotion que je viens, au nom du Corps des Mines et du Comité de l'Exploitation technique des Chemins de fer, adresser un dernier adieu à notre camarade et collègue M. Massieu.

C'était pour moi un ami, et le point de départ de mon affection pour lui était la valeur que je lui reconnaissais. Il a donné l'exemple d'un ingénieur mettant jusqu'à la fin au service de l'État une haute intelligence et un dévouement qui ne comptait pas avec sa santé.

Après un service remarquable à Rennes, où il était professeur à la Faculté des Sciences, en même temps qu'il était chargé d'un service minéralogique et du contrôle de l'exploitation des chemins de fer de l'Ouest, il a été appelé à Paris, où il a fait preuve, comme inspecteur général, directeur de services de contrôle, d'une compétence hors ligne. Ses avis étaient hautement appréciés au Comité dans toutes les questions techniques, et spécialement dans celles de la composition des trains et de la protection des voies, qu'il avait approfondies. Nul n'a mérité mieux que lui les distinctions honorifiques qui lui ont été accordées, la croix d'Officier de la Légion d'honneur et les palmes d'Officier de l'Instruction publique.

Ajoutez à sa valeur intellectuelle une conscience droite, un caractère doux et ferme, une grande élévation de sentiments, et vous comprendrez que M. Massieu, aimé de tous ses camarades, était un de ces ingénieurs dont le Corps des Mines s'honore au plus haut degré.

Que sa famille, que sa mort prématurée plonge dans la douleur, mais qui sera heureusement soutenue par un fils officier de cavalerie et un gendre ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, me permette de lui transmettre discrètement, au nom de tous, l'expression de profonds regrets et de l'hommage rendu aux qualités éminentes de son chef, et, en mon nom personnel, les plus affectueux souvenirs et la confiance que Dieu le récompensera d'une vie entière consacrée au devoir.

Adieu, mon cher ami, au nom de tous vos camarades !

DISCOURS DE M. SIRODOT

Correspondant de l'Institut,
Doyen honoraire de la Faculté des sciences de Rennes.

Messieurs,

Je devais accepter la douloureuse mission de représenter à ce deuil si cruel et si prématuré une Compagnie qui a eu la bonne fortune de compter M. Massieu parmi ses membres et à laquelle, par d'heureux sentiments de réci-

procité, M. Massieu s'est toujours montré très fier d'appartenir.

La chaire de Géologie et de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Rennes a été longtemps occupée par les Ingénieurs des Mines de la région. En 1861, M. Massieu était appelé à remplacer dans cette chaire M. Durocher, ingénieur en chef, correspondant de l'Institut, enlevé presque subitement dans la force de l'âge.

Esprit mathématique d'une merveilleuse netteté, M. Massieu devait être dans son enseignement plus minéralogiste que géologue. Dans cet ordre d'idées, les questions à développer ne sont pas toujours d'un abord facile pour des auditeurs qui y sont peu préparés ; mais M. Massieu jouissait à un si haut degré de l'aptitude à rendre la science aimable, qu'il avait toujours devant lui des personnes venant à l'envi entendre une exposition élégante, colorée, toujours claire.

En même temps que professeur d'un rare mérite, M. Massieu était l'homme le plus affable, le plus bienveillant, le plus conciliant qui fût au monde, aussi n'a-t-il jamais provoqué que l'estime et l'affection de ses collègues, de nos étudiants, de tous les candidats aux grades, en un mot de tous ceux qui l'ont approché.

Ce n'est pas seulement à la Faculté des Sciences que j'ai été le collègue de M. Massieu ; les mêmes électeurs nous ont fait entrer au Conseil municipal à une époque où de graves questions d'hygiène devaient y être débattues : adduction d'eau, création d'un réseau d'égouts, reconstruction du lycée, établissement de nouveaux groupes d'écoles primaires. Membre des Commissions les plus importantes, il fut souvent chargé de rapports qui resteront, dans les archives de l'Hôtel de Ville, comme des modèles à tous les points de vue.

Dans ces tâches multiples, auxquelles s'ajoutait encore le contrôle d'une importante section des chemins de fer de

l'Ouest, il devait être servi par une extraordinaire facilité de travail, car tout était prêt, tout arrivait à l'heure convenue.

Que M. Massieu dût être appelé à une haute situation, cela n'était douteux pour personne ; mais, pour être prévue, la séparation n'en fut pas moins pénible, et je suis heureux de pouvoir rappeler que les regrets ne furent pas moins vifs d'un côté que de l'autre.

M. Massieu avait bien conquis le droit à l'honorariat que sollicitait, d'ailleurs, la Faculté pour l'un de ses membres qui l'avaient le plus honorée. Il a reçu le titre avec une satisfaction qu'il ne cherchait pas à dissimuler et, depuis, il n'a pas cessé de s'intéresser à tout ce qui pouvait assurer la prospérité de la Faculté des Sciences. Il avait conservé sa robe avec l'espoir de la revêtir encore une fois, dans une occasion solennelle. Hélas ! la mort impitoyable ne lui a pas laissé cette satisfaction.

Mon cher et vieil ami, lorsque vous arriviez à la Faculté des Sciences de Rennes, il y avait à peine un an que j'avais pris possession de la chaire illustrée par Dujardin. L'un et l'autre nous avions succédé à des hommes considérables : à nous deux, nous étions la jeunesse de la Faculté, jeunesse laborieuse pendant laquelle s'est fondée sur l'estime cette affection profonde qui s'est étendue à nos deux familles et que, seule, la mort pouvait rompre. Comme nous vous aimions, nous continuerons à aimer les vôtres dans le culte des mêmes souvenirs.

Mon cher Massieu, j'étais de beaucoup votre aîné ; c'est de vous que je devais attendre ce suprême adieu que j'ai la douleur de vous apporter aujourd'hui.

Au nom de vos collègues de la Faculté des Sciences, au nom de tous les nombreux amis que vous aviez laissés à Rennes, et dont beaucoup m'en ont prié, adieu ! cher ami, adieu !

DISCOURS DE M. NIVOIT (*)

Ingénieur en chef des Mines,
Ingénieur en chef du Contrôle des chemins de fer de l'Est.

Je ne veux pas laisser se fermer cette tombe, trop tôt ouverte, sans adresser, non pas un adieu définitif, mais un adieu terrestre, à celui dont elle contient les restes mortels.

Des voix plus autorisées que la mienne ont déjà fait ressortir la haute valeur de M. Massieu comme ingénieur et comme savant. Il a marqué sa trace dans la science par des œuvres qui ne périront pas.

Comme directeur du contrôle d'une grande Compagnie de chemins de fer, — et c'est surtout dans ce rôle que j'ai été à même de l'apprécier, — M. Massieu avait une compétence indiscutée. Il s'était fait une spécialité des questions de signaux, d'enclenchements, qui touchent à la sécurité et qui ont une si grande importance pour l'exploitation des voies ferrées. Ses rapports, dans lesquels la précision des détails n'excluait pas la largeur des vues, étaient des modèles qui seront consultés avec fruit par ses successeurs. Il avait une grande autorité dans les Conseils, où il savait faire triompher ses idées et faire passer la conviction dans l'esprit de ses auditeurs, par sa parole nette et incisive.

Parlerai-je, maintenant, de M. Massieu comme homme, à vous, ses parents, ses amis, ses compatriotes, qui l'avez connu encore mieux que moi, et qui l'avez aimé? Je suis sûr, cependant, que je ne serai contredit par personne, quand j'affirmerai que sa valeur morale était au moins égale à sa valeur intellectuelle. Il s'imposait à tous par

(*) Ce discours a été prononcé le 10 février, à Valteville (Seine-Inférieure), où a eu lieu l'inhumation.

la dignité de sa vie et la loyauté de son caractère ; il avait un cœur d'or, ouvert à toutes les idées généreuses, une âme d'élite, une de ces âmes de cristal dans lesquelles il n'y a rien de caché. On ne pouvait l'approcher sans être gagné par sa bienveillance et son affabilité. Pour ma part, je ne sortais jamais d'un entretien avec lui sans me sentir, à la fois, l'esprit satisfait par les arguments de l'ingénieur et le cœur content, rasséréné par sa douce influence ; c'est une impression qu'éprouvait tout son personnel : j'en recueillais, encore tout récemment, de précieux témoignages. Aussi n'est-ce pas seulement en mon nom, mais au nom de tous ceux qui ont eu l'honneur de servir sous les ordres de M. Massieu au contrôle de l'Est, que j'exprime à une famille, si cruellement éprouvée, tous les regrets que nous inspire la mort de cet homme excellent.

BULLETIN

RÉSUMÉ STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA FRANCE PENDANT LES ANNÉES 1870 A 1894

Par M. SOL, chef de bureau au Ministère des Travaux publics.

II. — Industrie sidérurgique.

(*Suite* (*).)

1° PRODUCTION, COMMERCE EXTÉRIEUR ET CONSOMMATION DES MINERAIS DE FER.

ANNÉES	NOMBRE des exploitations : Mines	NOMBRE des exploitations : Minières	NOMBRE des ouvriers	PRODUCTION : des mines	PRODUCTION : des minières	PRODUCTION : totale	VALEUR de l'extraction	PRIX moyen	IMPORTATION (*)	EXPORTATION (*)	CONSOMMATION (**)
				tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.	fr. c.	tonnes.	tonnes	tonnes
1870....	80	310	9.415	?	?	2.614.291	11.225.442	4,31	489.261	145.062	2.958.490
1871....	69	293	7.295	?	?	1.852.272	9.076.818	4,90	378.235	135.835	2.094.672
1872....	81	282	9.605	?	?	2.781.790	14.669.733	5,27	668.665	336.790	3.113.665
1873....	92	330	11.386	1.892.964	1.158.160	3.051.124	17.878.676	5,85	720.508	352.853	3.419.779
1874....	93	332	10.044	1.487.392	1.029.156	2.516.548	14.872.792	5,91	801.249	213.263	3.104.534
1875....	88	298	9.638	1.556.380	949.490	2.505.870	13.801.766	5,50	832.875	179.669	3.158.076
1876....	93	335	9.296	1.578.206	815.134	2.393.340	13.372.524	5,58	849.186	105.170	3.137.356
1877....	94	298	9.151	1.799.551	626.727	2.426.278	13.469.603	5,55	976.977	79.140	3.323.715
1878....	82	275	8.468	1.872.563	597.390	2.469.953	12.714.979	5,15	932.220	79.537	3.322.636
1879....	80	211	6.942	1.657.852	613.321	2.271.173	11.393.143	5,02	941.811	66.653	3.146.331
1880....	79	205	8.044	2.120.919	753.344	2.874.263	14.908.557	5,18	1.168.506	114.796	3.928.073
1881....	78	185	8.623	2.367.856	664.214	3.032.070	15.171.734	5,00	1.286.760	83.294	4.235.536
1882....	82	219	9.438	2.453.145	1.014.106	3.467.251	16.841.945	4,86	1.425.878	120.634	4.772.495
1883....	81	209	8.820	2.390.594	907.259	3.297.853	15.426.292	4,68	1.601.217	104.512	4.794.558
1884....	77	190	7.764	2.024.515	952.433	2.976.948	12.828.045	4,30	1.412.724	120.137	4.269.535
1885....	64	126	5.747	1.706.661	611.443	2.318.104	8.948.073	3,80	1.420.003	89.561	3.648.546
1886....	61	111	5.411	1.804.173	481.475	2.285.648	8.219.030	3,60	1.158.639	103.936	3.339.351
1887....	61	90	4.556	2.071.068	508.397	2.579.465	8.654.308	3,35	1.155.005	281.128	3.453.342
1888....	64	81	5.053	2.275.573	566.184	2.841.757	9.471.078	3,33	1.310.695	294.244	3.858.208
1889....	68	90	5.475	2.407.352	663.037	3.070.389	10.420.992	3,39	1.442.440	261.560	4.251.269
1890....	65	103	6.583	2.773.632	698.086	3.471.718	12.385.399	3,57	1.610.242	285.366	4.796.594
1891....	65	100	6.927	2.905.942	673.344	3.579.286	12.785.420	3,57	1.437.536	298.550	4.717.272
1892....	66	109	6.833	3.007.878	698.870	3.706.748	12.580.843	3,40	1.683.723	304.646	5.085.825
1893....	72	109	6.547	2.885.251	632.187	3.517.438	11.695.845	3,33	1.630.441	301.731	4.846.148
1894....	71	86	6.856	3.117.234	654.867	3.772.101	12.297.207	3,26	1.638.486	247.635	5.162.952

(*) Commerce spécial.
(**) Consommation calculée d'après la production et le commerce extérieur sans tenir compte des stocks annuels.

(*) Voir *supra*, p. 298-304.

2° NOMBRE ET CONSISTANCE DES USINES A FER ; PERSONNEL OUVRIER.

ANNÉES	NOMBRE des usines à fer	HAUTS-FOURNEAUX en activité : au coke	HAUTS-FOURNEAUX en activité : au bois	HAUTS-FOURNEAUX en activité : aux deux combustibles	FOURS ET FOYERS (pour le fer) en activité : Fours à puddler	FOURS ET FOYERS (pour le fer) en activité : Foyers d'affinerie	FOURS ET FOYERS (pour le fer) en activité : Fours à réchauffer	FOURS ET FOYERS (pour l'acier) en activité : Foyers Bessemer	FOURS ET FOYERS (pour l'acier) en activité : Fours Siemens-Martin	FOURS ET FOYERS (pour l'acier) en activité : Autres foyers	FOURS ET FOYERS (pour l'acier) en activité : Fours à réchauffer	NOMBRE DES OUVRIERS : pour la fonte	NOMBRE DES OUVRIERS : pour le fer	NOMBRE DES OUVRIERS : pour l'acier
1870...	?	143	82	41	1.073	332	903			444	206	?	?	?
1871...	?	114	77	32	902	295	822		18	351	175	?	?	?
1872...	?	135	89	46	1.037	315	845		27	341	229	?	?	?
1873...	455	156	115	46	1.048	305	878	24	30	334	219	14.400	35.000	5.482
1874...	467	155	109	45	1.014	302	840	25	18	335	237	14.400	34.500	7.269
1875...	428	141	93	36	1.027	302	918	24	46	295	266	13.300	32.900	9.307
1876...	383	130	86	33	990	284	845	24	45	191	249	12.563	30.870	8.128
1877...	376	133	69	30	995	266	850	24	54	192	240	13.319	30.585	9.363
1878...	359	134	64	20	901	226	797	24	51	191	218	14.499	29.406	10.061
1879...	331	122	52	14	876	215	820	23	44	187	251	13.085	29.884	10.747
1880...	332	119	44	18	993	198	877	19	50	201	243	14.802	32.086	11.708
1881...	329	143	42	18	960	157	896	21	56	205	260	15.567	35.309	13.258
1882...	325	148	43	19	997	146	901	29	62	201	275	16.960	37.382	12.030
1883...	321	143	38	16	971	136	896	35	62	118	272	14.514	37.604	14.057
1884...	304	123	31	14	849	127	824	38	55	119	279	12.965	35.464	12.580
1885...	281	96	26	7	753	96	721	34	49	105	258	10.793	31.824	12.446
1886...	259	99	16	4	688	77	690	34	45	105	258	9.817	30.220	12.295
1887...	246	84	12	5	637	56	685	30	45	100	246	9.592	28.533	14.852
1888...	263	90	12	4	646	51	707	28	49	103	259	9.690	28.421	16.697
1889...	255	101	10	5	646	41	718	28	59	117	279	9.450	29.178	18.066
1890...	255	100	9	10	628	45	703	27	64	124	282	9.860	27.928	20.460
1891...	254	101	9	8	619	41	642	25	66	124	326	10.114	29.047	22.192
1892...	251	95	6	6	629	37	670	22	73	138	340	10.159	29.031	23.313
1893...	244	95	6	5	692	40	679	23	81	133	340	9.937	25.706	24.148
1894...	243	90	6	3	590	42	674	30	74	114	343	8.349	26.347	25.591

3° PRODUCTION, COMMERCE EXTÉRIEUR ET CONSOMMATION DE LA FONTE.

ANNÉES	PRODUCTION				VALEUR	IMPORTATIONS			EXPORTATIONS			CONSOMMATION (***)
	de la fonte au coke	de la fonte au bois	de la fonte aux deux combustibles	totale	totale des fontes	à droits (*)	en franchise temporaire (**)	totales	sous le régime ordinaire (*)	sous le régime des acquits à caution (**)	totales	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1870...	1.048.114	89.913	40.088	1.178.115	108.700.631	?	?	?	?	?	?	?
1871...	775.631	70.942	13.098	859.641	84.661.902	?	?	?	?	?	?	?
1872...	1.067.600	90.104	60.134	1.217.838	147.566.643	?	?	?	?	?	?	?
1873...	1.184.043	135.340	62 243	1.381.626	190.288.670	54.471	79.162	133.633	23.073	38.010	61.083	1.454.176
1874...	1.200.443	144.535	70.919	1.415.897	168.722.781	37.106	92.987	130.093	21.908	32.976	54.884	1.491.106
1875...	1.260.826	115.918	71.528	1.448.272	156.391.526	68.264	118.596	186.860	17.234	26.067	43.301	1.591.831
1876...	1.268.048	95.098	72.066	1.435.212	141.505.305	85.873	108.492	194.365	20.397	22.407	42.804	1.586.773
1877...	1.372.376	80.582	53.869	1.506.827	142.675.835	106.926	85.217	192.143	19.281	24.669	43.950	1.655.020
1878...	1.404.843	75.415	41.016	1.521.274	133.764.621	96.672	76.186	172.858	22.754	16.727	39.481	1.654.651
1879...	1.329.575	47.014	23.697	1.400.286	119.716.138	86.117	70.866	156.983	23.271	15.752	39.023	1.518.246
1880...	1.641.569	54.890	28.834	1.725.293	160.469.060	82.249	79.424	161.673	24.028	19.975	44.003	1.842.963
1881...	1.796.471	55.096	34.783	1.886.350	172.469.260	209.769	79.557	289.326	19.641	19.694	39.335	2.136.341
1882...	1.940.002	55.163	43.902	2.039.067	185.636.266	248.630	62.723	311.353	16.556	17.086	33.642	2.316.778
1883...	1.984.795	51.232	33.403	2.069.430	168.384.248	256.883	63.015	319.898	14.209	19.770	33.979	2.355.349
1884...	1.805.851	39.189	26.497	1.871.537	139.825.897	149.400	67.942	217.342	13.482	16.389	29.871	2.059.008
1885...	1.585.464	29.115	16.069	1.630.648	100.683.663	101.066	96.260	197.326	18.535	17.076	35.611	1.792.363
1886...	1.497.161	11.469	7.944	1.516.574	83.716.272	65.876	87.334	153.210	24.575	17.170	41.745	1.628.039
1887...	1.546.736	11.697	9.189	1.567.622	89.682.943	35.334	101.811	137.145	92.181	23.592	115.773	1.588.994
1888..	1.662.055	12.823	8.471	1.683.349	95.685.806	36.705	99.703	136.408	43.807	29.576	73.383	1.746.374
1889...	1.719.331	8.157	6.476	1.733.964	106.507.815	20.903	115.452	36.355	142.678	48.194	190.872	1.679.447
1890...	1.925.081	12.486	24.629	1.962.196	137.619.867	28.889	94.825	123.714	188.959	45.021	233.980	1.851.930
1891...	1.867.727	10.385	19.275	1.897.387	124.135.844	65.394	96.735	162.129	114.166	31.246	145.412	1.914.104
1892...	2.032.037	12.366	12.855	2.057.258	124.868.529	96.739	62.771	159.510	134.449	25.004	159.453	2.057.315
1893...	1.981.007	6.125	15.964	2.003.096	116.734.555	93.616	54.158	147.774	116.865	26.787	143.652	2.007.218
1894...	2.049.942	7.337	12.435	2.069.714	118.002.286	69.235	52.730	121.965	130.172	26.466	156.638	2.035.041

(*) Commerce spécial (fonte brute, fonte ouvrée, machines, débris de fonte).
(**) Quantités mises en œuvre ou réexportées après main-d'œuvre.
(***) Basée sur le total de la production et la différence entre l'importation et l'exportation, sans tenir compte de la variation des stocks.

4° PRODUCTION, COMMERCE EXTÉRIEUR ET CONSOMMATION DU FER.

ANNÉES	PRODUCTION				VALEUR	IMPORTATIONS			EXPORTATIONS			CONSOMMATION (***)
	du fer puddlé	du fer affiné au ch. de bois	du fer obtenu par réch. de vieux fers	totale	totale des fers	à droits (*)	en franchise temporaire (**)	totales	sous le régime ordinaire (*)	sous le régime des acquits à caution (**)	totales	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1870..	784.853	45.933	Compris avec les fers puddlés	830.786	186.135.144	?	?	?	?	?	?	?
1871..	640.095	37.316		677.411	161.043.052	?	?	?	?	?	?	?
1872..	840.086	43.263		883.349	257.335.943	?	?	?	?	?	?	?
1873..	861.180	31.369		892.549	299.479.623	42.931	15.771	58.702	122.675	60.645	183.320	767.931
1874..	825.868	32.512		858.380	245.578.249	57.813	18.777	76.590	105.569	64.187	169.756	765.214
1875..	834.978	34.698		869.676	230.105.672	52.684	17.081	69.765	64.178	81.639	145.817	793.624
1876..	768.372	68.740		837.112	202.498.933	71.852	19.542	91.394	52.630	95.274	147.904	780.602
1877..	821.006	63.487		884.493	202.029.732	81.491	18.692	100.183	39.158	73.004	112.162	872.514
1878..	782.848	60.264		843.112	182.152.272	97.643	26.349	123.992	33.807	80.169	113.976	853.128
1879..	759.353	67.135	30.583	857.071	187.680.878	74.484	30.159	104.643	34.421	73.827	108.248	853.466
1880..	847.670	65.659	52.422	965.751	222.564.402	78.895	29.694	108.589	39.395	80.496	119.891	954.449
1881..	897.186	52.256	76.848	1.026.290	233.658.309	114.338	32.546	146.884	38.469	73.547	112.016	1.061.158
1882..	938.735	42.475	91.811	1.073.021	247.594.556	147.761	36.222	183.983	38.990	71.295	110.985	1.146.719
1883..	841.581	36.658	100.678	978.917	214.941.970	128.522	40.854	169.376	41.545	81.643	123.188	1.025.105
1884..	754.841	30.646	91.264	876.751	172.699.710	96.419	37.561	133.980	40.889	77.243	118.132	892.599
1885..	663.110	24.496	94.825	782.431	132.687.041	75.816	26.713	102.529	55.778	59.539	115.317	769.643
1886..	637.278	19.405	109.873	766.556	118.114.520	65.008	23.169	88.177	68.887	56.786	125.673	729.060
1887..	617.997	16.864	136.749	771.610	117.808.184	65.160	31.366	96.526	98.745	76.100	174.845	693.291
1888..	634.419	13.711	168.843	816.973	123.231.482	61.854	24.003	85.857	99.283	73.076	172.359	730.471
1889..	672.417	12.046	124.261	808.724	131.391.577	57.529	22.592	80.121	146.648	68.336	214.984	673.861
1890..	683.680	10.258	131.431	825.369	147.965.801	64.034	25.359	89.393	151.623	67.499	219.122	695.640
1891..	692.979	8.140	132.290	833.409	147.730.079	68.687	39.744	108.431	108.831	87.440	196.271	745.569
1892..	694.203	8.709	125.607	828.519	147.665.645	73.850	41.456	115.306	91.648	69.525	161.173	782.652
1893..	680.935	10.629	116.607	808.171	140.237.365	73.292	36.781	110.073	75.608	54.420	130.028	788.216
1894..	637.444	9.276	139.061	785.781	128.972.880	80.442	44.320	124.762	78.761	61.957	140.718	769.825

(*) Commerce spécial (fers bruts et en barres, rails, fers d'angle, tôles, machines et mécaniques, ouvrages en fer, etc.).
(**) Quantités mises en œuvre ou réexportées après main-d'œuvre.
(***) Variations des stocks non comprises.

5° PRODUCTION, COMMERCE EXTÉRIEUR ET CONSOMMATION DE L'ACIER.

ANNÉES	PRODUCTION				VALEUR TOTALE	IMPORTATIONS (*)			EXPORTATIONS (*)			CONSOMMATION
	des aciers ouvrés Bessemer (***)	des aciers ouvrés S.-Martin (***)	des autres aciers	totale	des aciers	à droits (*)	en franchise temporaire (**)	totales	sous le régime ordinaire (*)	sous le régime des acquits a caution (**)	totales	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1870..	61.242		33.145	94.387	33.889.304	?	?	?	?	?	?	?
1871..	62.382		27.745	90.127	29.737.085	?	?	?	?	?	?	?
1872..	112.286		29.419	141.705	57.311.626	?	?	?	?	?	?	?
1873..	119.810		30.719	150.529	63.503.826	7.038	822	7.860	16.595	9.122	25.717	132.672
1874..	182.044		26.743	208.787	74.390.471	8.472	421	8.893	16.208	20.454	36.662	181.018
1875..	223.467		32.926	256.393	84.222.944	6.236	376	6.612	9.187	34.734	43.921	219.084
1876..	211.293		30.549	241.842	72.383.582	6.321	603	6.924	3.747	19.982	23.729	225.037
1877..	239.939		29.242	269.181	80.078.744	6.292	737	6.969	3.243	14.304	17.547	258.603
1878..	283.377		29.544	312.921	84.398.751	6.654	1.173	7.827	2.902	21.971	24.873	296.875
1879..	306.831		26.434	333.265	98.456.179	9.737	548	10.285	2.962	24.620	27.582	315.968
1880..	359.921		28.973	388.894	111.995.085	11.592	1.110	12.702	2.956	20.292	23.248	378.348
1881..	394.152		28.264	422.416	118.508.013	23.667	2.299	25.966	2.773	26.952	29.725	418.657
1882..	273.410	159.561	25.267	458.238	128.597.560	47.963	5.879	53.832	2.859	23.109	25.968	486.102
1883..	336.400	162.207	23.213	521.820	135.672.566	41.298	6.052	47.350	3.677	15.965	19.642	549.528
1884..	365.437	115.182	22.289	502.908	122.411.936	17.238	4.941	22.179	2.957	20.474	23.431	501.656
1885..	404.019	123.829	25.991	553.839	122.303.317	12.639	7.057	19.696	13.780	57.687	71.467	502.068
1886..	326.165	101.406	26.018	453.589	102.651.708	10.332	3.594	13.926	21.238	43.618	64.856	402.659
1887..	324.887	143.764	24.643	493.294	117.865.658	10.387	5.679	16.066	37.076	40.921	77.997	431.363
1888..	325.196	158.303	33.795	517.294	117.111.928	8.061	4.916	12.977	18.405	27.662	46.067	484.204
1889..	316.892	179.000	33.419	529.302	126.117.789	7.472	4.044	11.516	40.984	30.557	71.541	469.277
1890..	354.194	193.187	34.617	581.998	150.761.954	8.963	4.044	13.007	44.782	24.562	69.344	525.661
1891..	388.256	216.168	34.106	638.530	167.487.642	9.228	2.672	11.900	24.924	29.095	54.019	596.411
1892..	412.534	238.224	31.769	682.527	184.118.090	7.629	2.145	9.774	14.237	16.086	30.323	661.978
1893..	410.169	228.642	25.221	664.032	166.834.310	9.237	1.247	10.484	15.919	12.507	28.426	646.090
1894..	397.976	248.369	27.845	674.190	169.479.301	8.666	1.877	10.543	23.708	13.653	37.361	647.372

(*) Commerce spécial (aciers en barres, rails, essieux et bandages, aciers fins, tôles, machines, ouvrages en acier, etc.).
(**) Quantités mises en œuvre ou réexportées après main-d'œuvre.
(***) La production des lingots Bessemer et Martin a été la suivante depuis 1888 :

	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894
Lingots Bessemer (tonnes)	403.350	393.741	431.748	471.789	515.640	493.011	489.157
Lingots Siemens-Martin (tonnes)	188.457	232.491	251.610	272.695	309.846	296.841	329.043
Production totale des lingots (tonnes)	591.807	626.232	683.358	744.484	825.486	789.852	818.200

6° RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION DES USINES A FER, PAR NATURE DE PRODUITS.

ANNÉES	FONTES brutes		FONTES moulées en 1re fusion	PRIX moyen des fontes brutes	FERS			PRIX MOYEN		ACIERS			PRIX moyen des rails d'acier
	d'affinage	pour moulage en 2e fusion			en rails	marchands et spéciaux	tôles	des fers	des tôles	en rails	marchands et spéciaux	tôles	
	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	francs	francs	tonnes	tonnes	tonnes	francs
1870...	1.099.923		78.192	87	171.009	576.675	83.102	226	325	54.484	39.903	»	320
1871...	805.728		53.913	93	122.504	474.207	80.700	238	354	59.275	26.852	»	310
1872...	1.146.638		71.200	116	129.151	624.375	129.823	291	420	88.848	50.857	2.000	305
1873...	1.310.011		71.615	132	153.689	607.241	131.619	316	447	108.000	40.146	2.383	304
1874...	1.327.664		88.233	114	160.967	581.164	116.249	272	380	154.453	48.254	6.080	291
1875...	1.372.889		75.383	103	149.384	626.369	123.923	252	347	178.368	70.674	7.351	259
1876...	1.146.866	190.479	97.867	93	82.069	627.218	127.825	227	327	180.846	52.813	8.183	240
1877...	1.179.289	222.537	105.001	89	59.834	695.018	129.641	215	309	183.682	72.902	12.597	236
1878...	1.167.117	262.246	91.911	83	52.172	658.706	132.234	202	293	231.487	71.178	10.256	217
1879...	1.097.124	228.854	74.308	80	30.980	680.219	136.872	203	304	253.742	64.589	14.934	216
1880...	1.382.352	248.905	94.036	87	42.325	768.783	154.643	212	327	279.498	90.636	18.760	218
1881...	1.462.625	335.935	87.790	85	28.468	829.978	167.844	208	335	303.222	100.155	19.039	209
1882...	1.597.749	341.200	100.118	86	27.016	882.840	163.165	214	327	336.259	100.549	21.430	199
1883...	1.618.526	368.702	82.202	78	19.214	809.063	150.640	202	319	391.277	97.292	33.251	187
1884...	1.499.837	280.023	91.677	71	15.668	734.113	126.970	180	290	367.924	103.096	31.888	170
1885...	1.257.074	301.412	72.162	58	4.735	659.002	118.694	158	335	355.550	152.459	45.830	149
1886...	1.200.731	247.826	68.017	52	907	662.164	103.485	143	224	254.650	150.699	48.240	137
1887...	1.211.730	293.702	62.100	54	598	668.415	102.597	142	226	202.909	217.655	72.730	126
1888...	1.306.465	313.067	63.817	54	827	699.094	117.052	141	210	173.058	259.064	85.172	120
1889...	1.316.059	352.145	65.760	59	1.029	686.320	121.375	153	217	165.764	259.496	104.042	127
1890...	1.543.023	343.087	76.086	67	388	706.311	118.670	169	239	176.497	288.020	117.481	140
1891...	1.475.994	356.210	65.183	63	793	718.502	114.114	169	232	212.425	303.443	122.662	145
1892...	1.623.771	360.045	73.442	59	408	716.566	111.545	168	241	229.848	324.905	127.774	147
1893...	1.522.115	413.287	67.694	57	775	696.184	111.212	165	226	207.358	323.023	133.651	142
1894...	1.600.113	400.721	68.880	55	684	685.319	99.778	158	207	182.510	340.116	151.564	131

Ce tableau ne comprend pas les fontes moulées en deuxième fusion.

La production des fontes de deuxième fusion a été la suivante de 1870 à 1875 ; elle comprend à la fois les fontes obtenues des fontes brutes pour moulage qui sont indiquées dans le tableau, et celles qui ont été tirées de vieilles matières :

		1870	1871	1872	1873	1874	1875
Fontes moulées en 2e fusion	(tonnes) ...	247.145	221.598	309.638	314.004	309.157	302.018

A partir de 1876, ce renseignement a cessé d'être relevé jusqu'en 1889. La production des six dernières années est donnée ci-dessous :

		1889	1890	1891	1892	1893	1894
Fontes moulées en 2e fusion	(tonnes) ...	509.205	588.013	533.509	564.879	542.037	544.926

(*La suite à une prochaine livraison.*)

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE.

ROUMANIE.

Règlements du 29 avril 1895 pour l'exploitation, dans les propriétés de l'État : 1° des carrières et 2° du pétrole, de l'ozokérite et autres substances bitumineuses.

Nous avons analysé précédemment (t. VIII, p. 590) les textes de la loi du 21 avril 1895 et du règlement général du 29 avril 1895, par lesquels la Roumanie vient de refondre sa législation minérale. A la même date que ce dernier règlement étaient rendus deux actes pour fixer le régime de l'exploitation, dans les propriétés de l'État, tant des carrières que du pétrole et de ses dérivés. Il n'y a là qu'une application des principes généraux à une matière spéciale. D'après la loi fondamentale, les carrières en Roumanie, comme en France, sont des dépendances de la propriété du sol ; il en est de même, au fond, nous l'avons dit dans notre précédent article, du pétrole et de ses dérivés. Les deux actes dont nous avons à parler établissent donc simplement le mode d'exploitation de propriétés domaniales d'une nature particulière.

I. — Carrières.

Les carrières appartenant à l'État peuvent être exploitées dans trois conditions différentes : 1° par amodiations résultant d'adjudications ; 2° par amodiations directes, ou sans adjudication, que le règlement nomme des *concessions ;* 3° par simple permission en vue de constituer des approvisionnements déterminés.

L'amodiation par adjudication publique constitue le régime normal des gîtes suffisamment connus pour que leur exploitation n'ait pas besoin d'être précédée de recherches.

Les amodiations directes, ou « concessions », sont consenties en faveur des inventeurs qui, à la suite de travaux de recherche, ont découvert et veulent exploiter des gîtes de substances rentrant dans les carrières.

Les permissions de fouille ont pour objet de permettre à un particulier de se procurer une certaine quantité de matériaux, déterminée d'avance.

Adjudications. — Le Cahier des Charges de chaque adjudication fixe l'étendue, la durée et les conditions de l'exploitation, sans que la durée puisse dépasser trente ans (art. 5).

L'amodiataire a le droit d'exploiter dans son périmètre toutes les substances rentrant dans la classe des carrières (art. 12). Il doit commencer l'exploitation dans le délai d'un an (art. 13), à peine de résiliation (art. 14) ; il doit extraire chaque année un minimum stipulé (art. 15), ou payer les taxes au mètre cube comme s'il avait extrait ce minimum (art. 16).

En somme, l'amodiataire n'est tenu par cette dernière stipulation qu'à payer un minimum de redevance annuelle ; mais l'article 50 prévoit le retrait du bail, si l'exploitation est restreinte ou suspendue de manière à porter préjudice aux besoins des consommateurs.

L'adjudication porte sur un fermage à payer annuellement ; l'amodiataire doit, en outre, au mètre cube, une redevance, fixée par le règlement, suivant la nature de la substance extraite (art. 18); cette redevance varie : de 1 fr. 50 à 0 fr. 25 pour la *pierre brute*, suivant ses dimensions; de 5 francs à 1 fr. 20 pour la *pierre équarrie*, suivant ses dimensions ;

Elle est de 0 fr. 50 pour les matières industrielles, telles que : argile, kaolin, quartz pour verreries, marnes, phosphates pour engrais, plâtre, ocres ;

De 0 fr. 25 pour les sables, graviers, terres à briques et débris de carrière.

Toutes les constructions, installations et améliorations d'un caractère immobilier, telles que routes, chemins de fer, maisons ouvrières, ateliers, magasins, etc., restent, en fin de bail, la propriété de l'État, sans indemnité pour le fermier (art. 40).

Ce règlement reconnaît, par les articles 51 et 52, le droit, pour l'amodiataire, d'occuper les terrains domaniaux de la surface, mais sans régler l'exercice de ce droit, si ce n'est pour les arbres qu'il faudrait abattre dans une forêt.

L'amodiataire ne peut céder son bail qu'avec la permission de l'Administration (art. 61).

Les travaux sont soumis à la surveillance normale de police comme en matière de carrières (art. 54).

Concessions. — Les recherches en vue de découvrir des gîtes nouveaux dans les terrains domaniaux ont lieu en vertu de permis administratifs (art. 22).

L'inventeur a droit à une concession dont il détermine la durée entre un et quarante ans, et l'étendue entre 1 et 30 hectares (art. 23 et 24), sous réserve d'interdiction de toutes les fouilles dans un rayon de 100 mètres autour des habitations, de 50 mètres autour des voies de communication et, en général, dans les endroits où l'exploitation d'une carrière mettrait obstacle à la sûreté de la propriété ou à la circulation (art. 25).

Le concessionnaire doit payer (art. 37) une redevance de 20 francs par hectare et par an et, en outre, les redevances au mètre cube ci-dessus stipulées pour l'amodiataire ordinaire.

Il est soumis aux mêmes stipulations que cet amodiataire, en ce qui concerne l'abandon de ses installations immobilières (art. 49), la déchéance en cas de suspension ou de restriction de l'exploitation, de nature à nuire aux besoins des consommateurs (art. 50), la police des exploitations (art. 51), la cession de son droit (art. 61).

Permis de fouilles. — Ils sont accordés à la priorité de la demande (art. 40, 52), pour extraire d'une carrière déterminée ou d'une partie de cette carrière, qu'indique alors l'Administration (art. 41), une quantité fixée et relativement faible de matériaux, à enlever dans un temps à ce indiqué, moyennant le paiement d'une redevance au mètre cube, dont le tarif est sensiblement supérieur à celui des amodiataires et concessionnaires. Il varie, en effet, de 2 francs à 0 fr. 50 pour la pierre brute, et de 10 francs à 3 francs pour la pierre équarrie, suivant dimensions; il est de 0 fr. 70 pour les substances industrielles et de 0 fr. 50 pour les sables, graviers, etc., de la dernière classe.

Le règlement dont nous venons de donner l'analyse ne laisse pas de présenter un intérêt spécial d'actualité, dans ses dispositions sur les adjudications et les concessions, par le rapprochement qu'on est tout naturellement porté à en faire avec les dispositions que le Gouvernement français a été conduit à édicter ou à proposer pour l'exploitation des phosphatières domaniales en Algérie. Le décret français du 12 octobre 1895, qui régit actuellement la matière, a les plus grandes analogies avec le règlement roumain; il fait notamment cette même distinction entre l'amodiation par adjudication et l'amodiation directe en faveur de l'explorateur qui a découvert un gîte nouveau, tant il semble que cette rémunération de l'inventeur, par la livraison même de la chose par lui trouvée, s'impose en tout pays.

On sait que, dans le projet de loi sur les phosphates en couches de l'Algérie, que le Gouvernement français vient de déposer à la Chambre des Députés, cette stipulation en faveur de l'inventeur a toutefois disparu.

A la différence des règlements roumains, les textes relatifs à l'Algérie ne sont pas exclusifs aux terrains domaniaux; mais l'extension des règlements français à d'autres terrains tient à des circonstances spéciales de notre colonie, qui ne permettent pas un rapprochement avec la Roumanie.

II. — Pétrole et ses dérivés.

Nous rappelons également que, dans le règlement relatif à ces substances, l'État fixe simplement, à titre de propriétaire, les conditions de leur exploitation dans les terres de son domaine.

Toutes ces substances y sont exploitées par voie de concessions, qui sont accordées à la priorité de la demande présentée dans les formes légales (art. 6, 7 et 8).

Ces concessions ont une durée de trente ans (art. 2); elles sont délimitées, au choix des intéressés, sur une étendue maximum de 40 hectares et sous l'obligation d'avoir un rapport de 1/4, au plus, entre la plus petite diagonale et la plus grande (art. 5).

S'il y a, dans le voisinage, une autre concession domaniale de pétrole en activité, la concession postérieure doit rester distante

de 50 mètres au moins du puits en activité le plus voisin (art. 3).

Le concessionnaire peut fonçer et exploiter, dans son périmètre, autant de puits et sondages qu'il veut, à la condition qu'ils ne soient pas à plus de 10 mètres les uns des autres (art. 17).

Il doit commencer ses travaux dans l'année, et il ne doit pas les interrompre plus d'un an, à peine de déchéance; la déchéance n'est, toutefois, prononcée et poursuivie que comme en matière de mines (art. 25), c'est-à-dire que l'autorité judiciaire apprécie la légitimité de l'abandon et que la vente, lorsqu'elle est décidée, a lieu au profit du concessionnaire déchu ou de ses créanciers.

L'exploitant peut occuper, à l'intérieur de son périmètre, tous les terrains nécessaires à l'exploitation (art. 19 et 28); il paie de ce chef à l'État une redevance de 20 francs par hectare et par an (art. 29); à l'extérieur du périmètre — et, par suite, même dans des terrains qui peuvent appartenir à des tiers — il peut exécuter les voies de communication destinées à relier l'exploitation avec ses dépendances ou avec les chemins publics, comme en matière de mines (art. 28, 52), c'est-à-dire avec indemnité d'occupation à la double valeur.

L'exploitant doit payer à l'État une redevance annuelle de 4 0/0 du produit net (art. 29), qui s'ajoute aux taxes dues en vertu de la loi des mines, c'est-à-dire une taxe fixe de 0 fr. 25 par hectare et par an, et une taxe proportionnelle de 2 0/0 du produit net. Bref, l'exploitant de pétrole sur les terres de l'État lui paie annuellement 0 fr. 25 par hectare et par an et 6 0/0 du produit net, évalué comme en matières de mines. Celui qui exploite un terrain de propriété privée doit à l'État, on le sait, en vertu de la loi des mines, une redevance annuelle de 2 0/0 du produit net. S'il est le cessionnaire du propriétaire du terrain, il devra, en outre, à celui-ci la redevance qui aura été convenue entre parties.

L'exploitant est soumis à la surveillance de police de l'Administration, comme en matière de mines. Il doit tenir, en outre, les plans et le registre d'avancement, un registre d'extraction et de vente (art. 20 et 22). Le Gouvernement peut, d'ailleurs, faire à tout instant constater par un délégué la production en pétrole des puits et sondages (art. 36).

En fin de concession, l'État reprend sans indemnité toutes les installations fixes établies par l'exploitant; celui-ci doit les lui remettre en bon état (art. 33). L. A.

THÉORIE

DE LA

STABILITÉ DES LOCOMOTIVES

Par M. J. NADAL, Ingénieur des Mines.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES Entrée BIBLIOTHÈQUE 1

Le mouvement d'une locomotive en marche est très complexe, et les efforts qu'elle exerce sur la voie sont loin d'être les mêmes que lorsqu'elle est en repos. La stabilité d'une locomotive est affectée par des perturbations de diverses sortes, qui proviennent des quatre causes principales suivantes: effet de la vapeur dans les cylindres, actions des pièces en mouvement relatif, action des ressorts, dénivellations de la voie.

Cette question de la stabilité des locomotives a de tout temps préoccupé les ingénieurs. Mais, en voyant la diversité des solutions adoptées dans la pratique, il est facile de reconnaître que le problème n'est pas complètement résolu. Cela tient à ce que les lois des mouvements parasites n'ont jamais été établies nettement et que, par conséquent, on ne peut pas se rendre compte du degré de stabilité d'une machine donnée.

Étudier le mouvement réel d'une locomotive en marche, en tenant compte de toutes les influences qui agissent sur lui, tel sera le but de l'étude qui va suivre.

Dans une première partie, nous étudierons les oscillations du bâti d'une locomotive sur les ressorts. Nous partirons d'un cas théorique simple, qui peut être complètement résolu par le calcul et qui nous conduira à des

solutions de cas plus compliqués, approximatives il est vrai, mais suffisamment exactes pour la pratique. Nous verrons que les oscillations des ressorts peuvent acquérir une importance considérable et entraîner, dans certains cas, la suppression complète de la charge des roues, que, étant donnée une machine déterminée, l'amplitude de ces oscillations passe par un maximum pour une certaine vitesse, qui se trouve être, dans bien des cas, la vitesse usuelle de marche. Nous examinerons, enfin, les moyens de comparer l'importance des oscillations dans des machines de divers types.

Dans une deuxième partie, nous étudierons plus spécialement le mouvement de lacet et les forces qui le déterminent. Le centre de gravité d'une locomotive a pour trajectoire une sorte de sinusoïde allongée, et la machine oscille en même temps autour d'un axe vertical, de sorte qu'elle se porte tantôt sur une file de rails, tantôt sur l'autre, en exerçant sur la voie des efforts latéraux d'une grande importance. Nous déterminerons ces efforts et la loi de ce mouvement soit en alignement droit, soit en courbe, en tenant compte des divers éléments qui entrent en jeu : vitesse ; type, moment d'inertie, empattement de la machine ; répartition du poids sur les roues ; jeu des essieux produit par des plans inclinés ou autrement ; mode d'attelage avec le tender ; action des tampons et du train ; jeu, déclivité et état de la voie, etc.

Nous pensons pouvoir faire ressortir de notre étude qu'il est possible de déterminer complètement l'allure et, si l'on peut dire, le caractère, quelquefois d'apparence capricieuse, d'une locomotive.

Je dois ajouter que les principes fondamentaux qui m'ont servi de base dans cette étude sont extraits du Cours professé à l'École supérieure des Mines par M. l'inspecteur général des Mines E. Vicaire. C'est ainsi notamment que M. Vicaire a traité le premier la question de la répartition du poids d'une machine entre ses points d'appui eu égard à la flexibilité des ressorts et la question des oscillations d'un corps posé sur un ressort. Je me suis borné à généraliser et à développer ces problèmes.

Je prie donc M. Vicaire, qui, en outre, m'a aidé de ses conseils et a bien voulu revoir mon travail, d'agréer l'hommage de la profonde gratitude d'un de ses élèves les plus dévoués.

PREMIÈRE PARTIE.

OSCILLATIONS DU BATI D'UNE LOCOMOTIVE SUR LES RESSORTS.

I. — Équations générales des oscillations d'un véhicule porté par des ressorts.

Considérons un véhicule reposant sur trois essieux par l'intermédiaire de six ressorts situés dans un même plan horizontal. Nous supposons que tous les ressorts ont le même coefficient de flexibilité et que, au repos, ils ont même flèche et supportent le même poids P. Si h est la hauteur du ressort, lorsqu'il n'est pas chargé, et f la flèche quand la charge est P, on a par définition :

$$h - f = \mathrm{KT}.$$

Au repos, la tension T du ressort n'est autre que le poids P.

Nous réduirons maintenant le poids suspendu sur chaque ressort à un point matériel unique de masse invariable $\frac{\mathrm{P}}{g}$. Nous avons ainsi six points matériels formant un système rigide, c'est-à-dire tels que leurs distances ne changent pas et qu'ils restent toujours dans un même plan. De plus, ces points matériels doivent être supposés à une certaine

hauteur au-dessus des ressorts, parce que le centre de gravité d'un véhicule est à une certaine distance du plan passant par les bases supérieures des ressorts.

Ce sont les petits mouvements d'un pareil système de points matériels, soumis à des liaisons, que nous allons étudier :

Soient Z la distance de la base supérieure du ressort chargé d'un poids P placé en un point A, à une ligne fixe OO′ représentant la ligne moyenne du rail ;

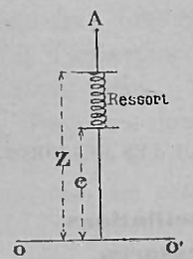


Fig. 1.

e, la distance fixe du point d'appui du ressort sur l'essieu au rail.

La différence Z — e est la flèche du ressort chargé. Supposons que la hauteur Z augmente d'une petite quantité z. La flèche du ressort augmente d'autant, et la tension T diminue d'une quantité θ telle que :

$$z = -K\theta.$$

La hauteur e de la base d'appui du ressort au-dessus du rail est invariable. Le rail, à cause de sa flexibilité et des dénivellations qu'il présente, ne forme pas une ligne droite, mais une certaine courbe dont nous désignerons par ε les ordonnées par rapport à OO′. Lorsque ε est positif, c'est-à-dire au-dessus de OO′, la distance de la base du ressort à OO′ devient $e + \varepsilon$, et le ressort se comprime. Finalement la flèche du ressort qui, à l'état statique, est : Z — e, est dans le cas général : Z + z — $(e + \varepsilon)$. Elle augmente donc de $z - \varepsilon$, et la variation de tension θ correspondante est donnée par la relation :

$$z - \varepsilon = -K\theta.$$

La quantité z est toujours petite, et ε l'est encore bien davantage ; cependant θ peut acquérir des valeurs notables,

parce que le coefficient de flexibilité K est lui-même très petit (de 0^m,003 à 0^m,01 par tonne).

Nous avons donc une première relation entre le déplacement z de la base supérieure du ressort ou du poids suspendu en A, le déplacement ε de la base inférieure du ressort ou du rail et la tension du ressort.

Si nous considérons maintenant le mouvement des six points matériels suspendus, nous savons que, en vertu du principe de d'Alembert, il y a équilibre, au moyen des liaisons, entre les forces d'inertie et les forces appliquées.

Pour chaque point, la force d'inertie est : $\frac{P}{g}\frac{d^2z}{dt^2}$.

Les forces appliquées sont la tension T + θ dirigée de bas en haut et la force due à la pesanteur. Celle-ci n'est plus égale à P, car, en vertu des liaisons et par l'effet des déplacements z, le poids de chaque point matériel pesant se répartit d'une façon inconnue entre les six bases d'appui sur les ressorts. La force due à la pesanteur est donc P + π (π étant une inconnue nouvelle), et on a l'équation d'équilibre pour chaque point :

$$\frac{P}{g}\frac{d^2z}{dt^2} = \theta - \pi.$$

Finalement on a, pour les six points A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, les deux séries d'équations :

$$(1)\quad \begin{cases} \frac{P}{g}\frac{d^2z_1}{dt^2} = \theta_1 - \pi_1, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2z_2}{dt^2} = \theta_2 - \pi_2, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2z_3}{dt^2} = \theta_3 - \pi_3, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2z_4}{dt^2} = \theta_4 - \pi_4, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2z_5}{dt^2} = \theta_5 - \pi_5, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2z_6}{dt^2} = \theta_6 - \pi_6; \end{cases} \qquad (2)\quad \begin{cases} z_1 - \varepsilon_1 = -K\theta_1, \\ z_2 - \varepsilon_2 = -K\theta_2, \\ z_3 - \varepsilon_3 = -K\theta_3, \\ z_4 - \varepsilon_4 = -K\theta_4, \\ z_5 - \varepsilon_5 = -K\theta_5, \\ z_6 - \varepsilon_6 = -K\theta_6. \end{cases}$$

Soit douze équations à dix-huit inconnues qui sont les z, les θ et les π. Les valeurs ε sont connues en fonction du temps, d'après la forme de la voie.

Avant d'établir les six équations de condition qui nous sont nécessaires pour pouvoir résoudre le système, remarquons que, si nous voulons faire l'application de ces relations à une locomotive, nous devons introduire de nouvelles forces dans notre système. En effet, la vapeur agissant sur le piston transmet une certaine force à la bielle motrice en produisant une certaine réaction verticale entre la tête du piston et les glissières. Ces dernières faisant corps avec le bâti de la machine, cette réaction modifie la répartition du poids suspendu sur chaque ressort. Elle agit, du reste, de bas en haut, sauf pendant la compression, et a pour valeur le produit de la pression sur le piston par la tangente de l'angle que fait la bielle motrice avec l'axe du cylindre. Cet angle est petit, mais la pression sur le piston est très grande, de sorte que cette force agissant sur les glissières peut atteindre des valeurs notables, plusieurs milliers de kilogrammes.

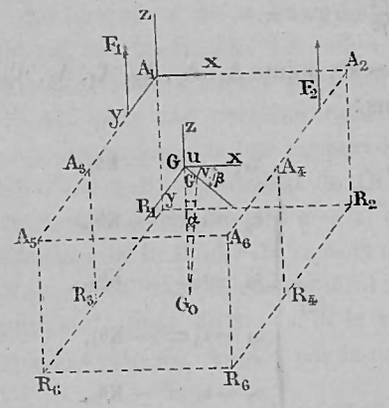


Fig. 2.

Une autre force agit aussi sur notre système : c'est l'effort sur le crochet de traction. Pour qu'elle n'eût aucune action sur la répartition du poids suspendu, il faudrait, ainsi que l'a démontré M. E. Vicaire (Cours de chemins de fer de l'École des Mines), qu'elle s'exerçât horizontalement dans le plan des rails. L'effet de l'effort de traction dépend du moment de cet effort par rapport

à un point de la voie et n'est pas négligeable. Mais il reste constant si la vitesse est uniforme et n'influe, par suite, pas beaucoup sur les oscillations.

Soient (*fig.* 2) F_1 et F_2 les pressions sur les glissières d'un côté et de l'autre de la locomotive. Ces forces sont à une distance δ de la ligne A_3A_4 passant par le centre de gravité G et les quantités F_1, F_2 et δ sont fonction du temps. Les forces F_1 et F_2 se répartissent d'une façon inconnue entre les six points A_1, A_2,..., A_6. Soient φ_1 la force appliquée en A_1; φ_2, en A_2, etc. Si j'appelle π'_1, π'_2, etc. (au lieu de π_1, π_2, etc., comme nous l'avions fait précédemment), l'augmentation du poids suspendu, j'ai à un moment quelconque :

$$\text{En } A_1, \text{ la force : } P + \pi'_1 - \varphi_1,$$
$$\text{En } A_2, \text{ la force : } P + \pi'_2 - \varphi_2.$$

Les équations exprimant l'égalité entre la force d'inertie et les forces appliquées seront donc telles que :

$$\frac{P}{g}\frac{d^2z_1}{dt^2} = \theta_1 - (\pi'_1 - \varphi_1).$$

En posant $\pi_1 = \pi'_1 - \varphi_1$, on retombe sur le système (1), où il faut observer que les quantités π n'ont plus la même signification qu'antérieurement.

II. — Équations de condition.

Nous allons déduire ces équations du fait que le système de points matériels est invariable comme forme géométrique et comme disposition des masses par rapport au centre de gravité.

Tout d'abord, le poids total reste invariable. On a donc :

$$P + \pi'_1 + P + \pi'_2 + P + \pi'_3 + P + \pi'_4 + P + \pi'_5 + P + \pi'_6 = 6P,$$

ou, en remplaçant π'_1, π'_2, etc., par leurs valeurs $\pi_1 + \varphi_1$, $\pi_2 + \varphi_2$, etc.,

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 + F_1 + F_2 = 0. \quad (3)$$

C'est la première des équations de condition.

Exprimons maintenant que les six points restent toujours dans un même plan.

Si je prends trois axes coordonnés, A_1x, A_1y, A_1z, et que j'appelle $2a$ la longueur A_1A_2, et $2b$ la longueur A_1A_5, les coordonnées des divers points après leur déplacement sont :

	x	y	z
A_1	0	0	z_1
A_2	$2a$	0	z_2
A_3	0	b	z_3
A_4	$2a$	b	z_4
A_5	0	$2b$	z_5
A_6	$2a$	$2b$	z_6

L'équation du plan passant par les trois points A_1, A_2, A_5, est :

$$\frac{z_1 - z_2}{2az_1}\,x + \frac{z_1 - z_5}{2bz_1}\,y + \frac{1}{z_1}\,z = 1.$$

En remplaçant x, y et z successivement par les coordonnées des trois autres points, on trouve les trois relations suivantes :

$$z_1 + z_6 - z_2 - z_5 = 0. \quad (4)$$
$$2z_4 - z_1 - z_5 = 0. \quad (5)$$
$$2z_4 + z_1 - 2z_2 - z_5 = 0. \quad (6)$$

Nous obtenons ainsi trois autres équations de condition.

Nous aurons les deux dernières en appliquant le principe de d'Alembert en vertu duquel les forces appliquées et les forces d'inertie sont en équilibre. Nous écrirons donc que les moments de ces forces par rapport à trois axes rectangulaires sont nuls. D'ailleurs, nous pouvons faire abstraction du mouvement de translation, qui est supposé uniforme.

Nous prendrons les moments par rapport à trois axes fixes Gx, Gy, Gz (*fig.* 2), passant par le centre de gravité du système au repos.

Les forces appliquées sont :

1° La pesanteur, — 6P, appliquée au centre de gravité; dans le déplacement, ce centre de gravité est venu en G', point dont les coordonnées horizontales sont u et v ;

2° Les tensions des ressorts, $T + \theta_1$, $T + \theta_2$, etc. ;

3° Les pressions sur les glissières, F_1 et F_2.

Toutes ces forces étant verticales, ainsi que les forces d'inertie, leurs moments par rapport à l'axe vertical sont nuls.

Prenons les moments par rapport à l'axe Gx. Il vient :

$$(T+\theta_1)\,b + (T+\theta_2)\,b - (T+\theta_5)\,b - (T+\theta_6)\,b + (F_1+F_2)\,\delta + 6Pv = b\left[\frac{P}{g}\frac{d^2z_1}{dt^2} + \frac{P}{g}\frac{d^2z_2}{dt^2} - \frac{P}{g}\frac{d^2z_5}{dt^2} - \frac{P}{g}\frac{d^2z_6}{dt^2}\right].$$

En remplaçant $\frac{P}{g}\frac{d^2z_1}{dt^2}$, etc., par leurs valeurs tirées de (1) et effectuant les réductions, il vient :

$$(F_1 + F_2)\,\delta + 6Pv + b\,(\pi_1 + \pi_2 - \pi_5 - \pi_6) = 0.$$

De même, en prenant les moments par rapport à l'axe Gy, on trouve :

$$(F_1 - F_2)\,a + 6Pu + a\,(\pi_1 + \pi_3 + \pi_5 - \pi_2 - \pi_4 - \pi_6) = 0.$$

Il faut maintenant remplacer u et v par leurs valeurs en fonction des z.

Or, dans le déplacement du plan A des six points matériels, ce plan reste normal à la ligne joignant le point fixe G_0 au centre de gravité. Donc l'angle $GG_0G' = \alpha$ n'est autre que l'angle que fait le plan A avec un plan horizontal, et l'angle $xGG' = \beta$ sera donné par la trace du plan perpendiculaire au plan A et passant par G_0G.

L'équation de ce plan ou de sa trace est :

$$x - \frac{z_1 - z_2}{z_1 - z_5}\, y = 0,$$

d'où on déduit tg β et :

$$\cos\beta = \frac{z_1 - z_2}{\sqrt{(z_1 - z_2)^2 + (z_1 - z_5)^2}}, \quad \sin\beta = \frac{z_1 - z_5}{\sqrt{(z_1 - z_2)^2 + (z_1 - z_5)^2}}.$$

Quant à l'angle α, son cosinus est le cosinus directeur du plan A par rapport à l'axe Gz. On a donc :

$$\cos^2\alpha = \frac{4a^2}{(z_1 - z_2)^2 + (z_1 - z_5)^2 + 4a^2},$$

et :

$$\sin^2\alpha = \frac{(z_1 - z_2)^2 + (z_1 - z_5)^2}{4a^2}.$$

Comme α est très petit, on peut l'égaler à son sinus, et on obtient finalement :

$$\alpha = \frac{\sqrt{(z_1 - z_2)^2 + (z_1 - z_5)^2}}{2a}.$$

Les valeurs de u et de v sont maintenant faciles à établir. On a en appelant e la hauteur G_0G :

$$u = e\alpha\cos\beta = \frac{e\,(z_1 - z_2)}{2a},$$

$$v = e\alpha\sin\beta = \frac{e\,(z_1 - z_5)}{2b}.$$

En portant ces valeurs dans les deux dernières équations de condition, il vient :

$$(7)\quad 3Pe\,(z_1 - z_2) + (F_1 - F_2)\,a^2 + a^2(\pi_1 + \pi_3 + \pi_5 - \pi_2 - \pi_4 - \pi_6) = 0$$
$$(8)\quad 3Pe\,(z_1 - z_5) + (F_1 + F_2)\,b\delta + b^2(\pi_1 + \pi_2 - \pi_5 - \pi_6) = 0.$$

Ce sont là les deux dernières équations de condition.

Ainsi, pour résoudre le problème, il faut trouver la solution des dix-huit équations de (1) à (8).

Il est à remarquer que les raisonnements qui précèdent peuvent s'appliquer à un véhicule supporté par un nombre quelconque n de roues, et on verra plus loin que la résolution des équations n'en est pas plus difficile. S'il y a n roues, les systèmes (1) et (2) fourniront $2n$ relations. L'invariabilité du poids total suspendu et le théorème des moments donneront trois équations de condition, et les $n - 3$ autres résulteront de ce que n points doivent se trouver dans un même plan. On pourra trouver ainsi les $3n$ inconnues.

III. — Intégration des équations.

Remplaçons dans les six équations du système (1) les θ par leurs valeurs tirées de (2) et ajoutons ; il vient :

$$\Sigma\frac{P}{g}\frac{d^2z}{dt^2} + \Sigma\frac{z}{K} = \Sigma\frac{\varepsilon}{K} - \Sigma\pi.$$

En vertu de (3) :

$$\Sigma\pi = -(F_1 + F_2).$$

Posons :

$$(9)\qquad \Sigma z = u, \qquad \Sigma\varepsilon = E.$$

On a :

$$(10)\qquad \frac{P}{g}\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{u}{K} = \frac{E}{K} + F_1 + F_2\,;$$

u est une inconnue auxiliaire ; F_1 et F_2 sont des fonctions de temps seulement. L'équation ci-dessus peut donc

être intégrée. En posant :

$$m = \sqrt{\frac{g}{PK}},$$

l'intégrale a la forme :

$$u = \frac{\sin mt}{m}\frac{g}{P}\int\left(\Sigma\frac{\varepsilon}{K} + F_1 + F_2\right)\cos mt\,dt$$

$$-\frac{\cos mt}{m}\frac{g}{P}\int\left(\Sigma\frac{\varepsilon}{K} + F_1 + F_2\right)\sin mt\,dt + A\sin mt + B\cos mt,$$

A et B étant des constantes arbitraires.

Supposons donc u connu. A l'aide des quatre équations (4), (5), (6) et (9), nous allons établir la valeur de quatre des inconnues z en fonction des deux autres, de z_1 et z_2 par exemple. Nous trouvons ainsi :

$$z_3 = \frac{u}{6} + \frac{z_1 - z_2}{2},$$

$$z_4 = \frac{u}{6} - \frac{z_1 - z_2}{2},$$

$$z_5 = \frac{u}{3} - z_2,$$

$$z_6 = \frac{u}{3} - z_1.$$

A l'aide de ces valeurs, nous pouvons dans (7) et (8) éliminer toutes les inconnues, sauf z_1 et z_2.

Remarquons d'abord que, en vertu de (3), l'équation (7) peut s'écrire :

$$(7\ bis)\quad 3Pe\,(z_1 - z_2) + 2a^2F_1 + 2a^2\,(\pi_4 + \pi_3 + \pi_5) = 0.$$

On a, d'ailleurs, d'après le système des équations (1),

$$\pi_4 = \frac{\varepsilon_4}{K} - \frac{z_4}{K} - \frac{P}{g}\frac{d^2z_4}{dt^2},$$

$$\pi_2 = \frac{\varepsilon_2}{K} - \frac{z_2}{K} - \frac{P}{g}\frac{d^2z_2}{dt^2},$$

$$\pi_3 = \frac{\varepsilon_3}{K} - \frac{z_3}{K} - \frac{P}{g}\frac{d^2z_3}{dt^2} = \frac{\varepsilon_3}{K} - \frac{u}{6K} - \frac{z_1 - z_2}{2K} - \frac{P}{6g}\frac{d^2u}{dt^2} - \frac{P}{2g}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} - \frac{d^2z_2}{dt^2}\right).$$

Cette dernière équation devient, d'après la relation (9),

$$\pi_3 = \frac{\varepsilon_3}{K} - \left(\frac{E}{6K} + \frac{F_1 + F_2}{6}\right) - \frac{z_1 - z_2}{2K} - \frac{P}{2g}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} - \frac{d^2z_2}{dt^2}\right).$$

On obtient de même :

$$\pi_5 = \frac{\varepsilon_5}{K} - \left(\frac{E}{3K} + \frac{F_1 + F_2}{3}\right) + \frac{z_2}{K} + \frac{P}{g}\frac{d^2z_2}{dt^2}.$$

En remplaçant dans (7 *bis*) π_4, π_3 et π_5 par leurs valeurs, il vient :

$$3Pe\,(z_1 - z_2) + 2a^2\left[F_1 + \frac{\varepsilon_4 + \varepsilon_3 + \varepsilon_5}{K} - \left(\frac{E}{2K} + \frac{F_1 + F_2}{2}\right)\right] - 3a^2\left[\frac{P}{g}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} - \frac{d^2z_2}{dt^2}\right) + \frac{z_1 - z_2}{K}\right] = 0.$$

En posant : $E_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_3 + \varepsilon_5 - \varepsilon_2 - \varepsilon_4 - \varepsilon_6$, et en prenant comme inconnue auxiliaire la valeur $v = z_1 - z_2$, cette équation devient, toutes réductions effectuées,

$$(11)\quad \frac{d^2v}{dt^2} + \left(\frac{g}{PK} - \frac{ge}{a^2}\right)v = \frac{g}{3P}\left[\frac{E_1}{K} + F_1 - F_2\right].$$

Cette équation différentielle a la même forme que (10) et s'intègre de la même façon.

Remplaçons maintenant, dans (8), z_5, π_5 et π_6 par leurs valeurs en fonction de z_1 et de z_2. Les calculs s'effectuent sans difficulté et, en prenant $z_1 + z_2 = w$ comme variable auxiliaire, après avoir posé :

$$E_2 = \frac{5\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + 2\,(\varepsilon_3 + \varepsilon_4) - (\varepsilon_5 + \varepsilon_6)}{6},$$

on trouve l'équation suivante en w :

$$(12)\quad \frac{d^2w}{dt^2} + \left(\frac{g}{PK} - \frac{3ge}{2b^2}\right)w = \frac{g}{PK}E_2 + \frac{g}{P}(F_1 + F_2)\left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right) - \frac{ge}{2b^2}u.$$

Le second membre étant fonction de t seulement, cette différentielle s'intègre de même que (10) et (11), la solu-

tion de ces trois équations donne la solution du problème.

En posant :

$$n = \sqrt{\frac{g}{PK} - \frac{qe}{a^2}},$$

$$p = \sqrt{\frac{g}{PK} - \frac{3ge}{2b^2}},$$

les intégrales de (11) et de (12) s'écrivent :

$$v = \frac{\sin nt}{n}\frac{g}{3P}\int\left(\frac{E_1}{K} + F_1 - F_2\right)\cos ntdt - \frac{\cos nt}{n}\frac{g}{3P}\int\left(\frac{E_1}{K} + F_1 - F_2\right)\sin ntdt$$
$$+ A_1 \sin nt + B_1 \cos nt,$$

$$w = \frac{\sin pt}{p}\int\frac{g}{P}\left[\frac{E^2}{K} + (F_1 + F_2)\left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right) - \frac{ge}{2b^2}u\right]\cos ptdt$$

$$- \frac{\cos pt}{p}\int\frac{g}{P}\left[\frac{E_2}{K} + (F_1 + F_2)\left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right) - \frac{ge}{2b^2}u\right]\sin ptdt$$
$$+ A_2 \sin pt + B_2 \cos pt,$$

équations où A_1, B_1, A_2, B_2, sont des constantes arbitraires.

Les deux premiers termes des valeurs de u, v, w, ont la forme suivante :

$$\varphi(t) = \sin \mu t \int \psi(t) \cos \mu t dt - \cos \mu t \int \psi(t) \sin \mu t dt,$$

où $\psi(t)$ est une fonction du temps. Il nous sera plus loin utile de connaître les valeurs de φ dans les deux cas où ψ est : 1° une fonction linéaire, 2° une fonction périodique simple du temps. Nous allons donc les établir dès maintenant.

Lorsque ψ est une fonction linéaire de la forme : $\eta - \lambda t$ où η et λ sont des constantes, on a :

$$\varphi = \frac{\eta - \lambda t}{\mu}.$$

Lorsque ψ est une fonction périodique de la forme : $a \sin qt + b \cos qt$, où a, b, q sont des constantes, on a :

$$\varphi = -\frac{1}{q^2 - \mu^2}(a \sin qt + b \cos qt).$$

Pour faire l'application des intégrales trouvées, il faut connaître la forme des fonctions E ou ε et F, c'est-à-dire l'action des rails et celle de la pression sur les glissières. Nous allons nous en occuper maintenant.

IV. — Courbe formée par les rails sous les roues d'une locomotive.

La ligne des rails sur laquelle roulent les roues n'est pas exactement une ligne droite. La flexibilité des rails, l'enfoncement des traverses dans le ballast, le jeu des éclisses, le déversement des rails, etc., produisent des dénivellations relativement importantes. Une étude très précise et très détaillée en a été faite par M. Coüard, ingénieur à la Compagnie de Lyon (*Revue générale des Chemins de fer*, octobre et décembre 1887). En voici les principaux résultats :

Par suite de l'enfoncement des traverses dans le ballast et du déversement des rails, le rail d'aval est toujours plus bas que le rail d'amont, et la roue tombe de l'un sur l'autre. La dénivellation d'un rail est maxima à la première ou à la seconde traverse, suivant que le bourrage est ancien ou récent, et nulle vers la dernière traverse. Chaque rail forme ainsi une sorte de plan incliné que les roues doivent gravir. Pour des rails de 5 mètres la dénivellation moyenne du rail d'aval est de 4 millimètres ; elle peut atteindre 8 ou 9 millimètres, surtout si les deux files de rails ne sont pas exactement au même niveau. Pour des rails de 10 mètres, les dénivellations sont environ un tiers moins grandes et ne se propagent pas sur toute la longueur du rail.

Elles sont les mêmes, c'est-à-dire que la voie présente le même profil pour toutes les roues de la locomotive.

Il résulte de ce qui précède que, en négligeant la flexion des rails entre les deux traverses du joint, la voie présente approximativement la forme dentelée de la *fig.* 3.

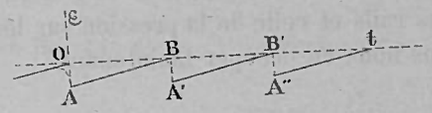


Fig. 3.

Cette courbe est constituée par les fragments de droites, dont chacune, AB par exemple, rapportée à des axes tels que ot, $o\varepsilon$, peut être représentée par une équation de la forme :

$$\varepsilon = -\eta + \lambda t,$$

où $\eta = o\mathrm{A}$, et λ est l'inclinaison de AB.

Si V est la vitesse de translation en mètres par seconde, et l la longueur du rail, on a :

$$\lambda = \frac{\mathrm{V}\eta}{l}.$$

Les chocs des roues sur la voie, pourvu qu'ils n'aient pas une intensité très grande, ne produisent aucun effet sur les oscillations des ressorts, car ils ne font pas varier la hauteur du point d'appui de ceux-ci. Cela n'arriverait que si la roue se trouvait soulevée au-dessus du rail par suite du choc. Or, les chocs ne sont ordinairement pas assez violents pour produire ce résultat. Les dénivellations seules déterminent donc, en thèse générale, les mouvements des ressorts.

La fonction du temps qui représente la courbe discontinue ABA'B', etc., est une fonction périodique dont la période est égale au temps nécessaire pour franchir un

rail. On pourrait établir cette fonction à l'aide des séries de Fourier, mais on arrive ainsi à des formules excessivement compliquées et, d'ailleurs, cela n'est pas nécessaire pour la solution du problème, comme on le verra plus loin.

V. — Réactions de la crosse du piston sur les glissières.

En appelant p la pression de la vapeur sur le piston diminuée de la force d'inertie du piston et de sa tige, la réaction entre la crosse du piston et la glissière est : p tg β, β étant l'angle de la bielle motrice avec l'axe du cylindre supposé horizontal. La quantité p peut se déduire du diagramme des pressions de la vapeur dans le cylindre, mais il n'est pas possible de la représenter par une fonction simple. On sait seulement que c'est une fonction périodique dont la période est égale à la durée d'un tour de roue.

Cependant, en pratique, on peut arriver à représenter approximativement la pression sur les glissières par une fonction trigonométrique composée d'un seul terme.

Construisons par exemple la courbe $\mathrm{F}_1 = p$ tg β pour une vitesse de trois tours par seconde. La *fig.* 1, Pl. XII, représente le diagramme des pressions dans un cylindre, dont les dimensions sont : diamètre : $0^m,44$; course : $0^m,65$, et la courbe F_1 de la *fig.* 2, Pl. XII, où l'axe des abscisses exprime les angles de manivelle, donne les réactions exercées sur les glissières du côté droit de la machine. Pareillement la courbe F_2 donne les réactions du côté gauche. On en déduit les courbes représentant $\mathrm{F}_1 + \mathrm{F}_2$ et $\mathrm{F}_1 - \mathrm{F}_2$. Ce sont effectivement ces valeurs qu'il faut obtenir, puisque ce sont elles qui entrent dans les intégrales du mouvement des ressorts. Or, on reconnaît que la courbe $\mathrm{F}_1 + \mathrm{F}_2$ est approximativement une sinusoïde dont l'axe serait $o'x'$, dont la différence de phase serait $o'\mathrm{A}'$ avec

le mouvement de la manivelle motrice ayant pour origine le point mort avant, côté droit, enfin dont la période serait un quart de tour. On peut donc écrire :

$$F_1 + F_2 = A + B \sin(4\alpha - \varphi) = A + B \sin 2\pi n (4t - \varphi),$$

n étant le nombre de tours, égal à trois dans le cas présent.

La courbe $F_1 - F_2$ peut aussi être remplacée par une sinusoïde dont l'équation serait :

$$F_1 - F_2 = C \sin(2\alpha - \varphi) = C \sin 2\pi n (2t - \varphi).$$

La *fig.* 3, Pl. XII, donne les courbes F_1+F_2 et F_1-F_2, quand la vitesse est de quatre tours par seconde. Ces courbes ont la même allure que lorsque $n = 3$, et le fait peut être considéré comme général. Quelle que soit la vitesse, on peut représenter approximativement les réactions sur les glissières par des fonctions trigonométriques à un seul terme.

Il est nécessaire de remarquer que, dans l'intégrale w (§ III), le terme $F_1 + F_2$ est accompagné du facteur δ, distance de la crosse du piston à l'axe transversal passant par le centre de gravité de la machine. δ varie comme le chemin parcouru par le piston. Dans le type de machine à trois essieux que nous avons pris pour base de notre étude (l'essieu moteur étant celui du milieu), δ est la longueur de la bielle motrice augmentée ou diminuée du chemin parcouru par le piston à partir de sa position moyenne. Si la bielle a $1^m,80$ de longueur, et la manivelle, $0^m,325$, δ varie de $1^m,475$ à $2^m,125$. Nous ne tiendrons pas compte de cette variation, et nous prendrons pour δ sa valeur moyenne. On pourrait faire le calcul des intégrales sans introduire cette restriction, mais il s'en trouverait plus compliqué sans grand profit au point de vue de l'exactitude.

VI. — Oscillations propres des ressorts.

Maintenant que nous connaissons les quantités E et F qui se trouvent dans les équations (10), (11) et (12), nous pouvons achever l'intégration.

L'expression générale de l'intégrale de (10) est, A et B étant des constantes arbitraires,

$$u = \frac{\sin mt}{m} \frac{g}{P} \int (E + F_1 + F_2) \cos mt\,dt - \frac{\cos mt}{m} \frac{g}{P} \int (E + F_1 + F_2) \sin mt\,dt + A \sin mt + B \cos mt.$$

Les quantités A et B s'obtiennent en faisant $t = 0$ dans cette expression et dans sa dérivée $\frac{du}{dt}$ et en donnant à u et $\frac{du}{dt}$ leurs valeurs initiales u_0 et u'_0.

Il est visible que B sera une somme de trois termes dont l'un sera u_0, l'autre la valeur de $\frac{g}{Pm} \int E \sin mt\,dt$ pour $t = 0$, que nous appellerons B_e, et le troisième la valeur de $\frac{g}{Pm} \int (F_1 + F_2) \sin mt\,dt$ pour $t = 0$, que nous appellerons B_f. Il en est de même pour A. La valeur de u peut donc s'écrire :

$$(13)\quad \left\{ \begin{aligned} u = {} & \frac{u'_0}{m} \sin mt + u_0 \cos mt \\ & + \frac{\sin mt}{m} \frac{g}{P} \int E \cos mt\,dt - \frac{\cos mt}{m} \frac{g}{P} \int E \sin mt.dt \\ & \qquad + A_e \sin mt + B_e \cos mt \\ & + \frac{\sin mt}{m} \frac{g}{P} \int (F_1 + F_2) \cos mt\,dt \\ & - \frac{\cos mt}{m} \frac{g}{P} \int (F_1 + F_2) \sin mt\,dt + A_f \sin mt + B_f \cos mt. \end{aligned} \right.$$

D'où il résulte que le mouvement périodique représenté par u est la résultante de trois mouvements élémentaires dus : le premier, aux valeurs initiales de u et $\frac{du}{dt}$; le second, aux dénivellations des rails ; le troisième, aux réactions sur les glissières. Ce fait était, d'ailleurs, prévu, car il résulte du principe de l'indépendance des petits mouvements simultanés. Ce que nous disons de u est vrai également pour v et w et, par conséquent, pour z. Nous pourrons donc ultérieurement étudier séparément chacun des mouvements composants.

Occupons-nous d'abord des oscillations dues à un mouvement initial, c'est-à-dire des oscillations propres des ressorts.

Nous avons, en nous reportant aux équations (11) et (12),

$$u = \frac{u'_0}{m} \sin mt + v_0 \cos mt,$$

$$v = \frac{v'_0}{n} \sin nt + v_0 \cos nt,$$

$$w = -\frac{\sin pt}{p} \frac{ge}{2b^2} \int u \cos pt\,dt + \frac{\cos pt}{p} \frac{ge}{2b^2} \int u \sin pt\,dt + A \sin pt + B \cos pt$$

ou, en effectuant les intégrations et remarquant que :

$$\frac{ge}{2b^2} = \frac{m^2 - p^2}{3},$$

$$w = \frac{1}{3}\left(\frac{u'_0}{m} \sin mt + v_0 \cos mt\right) + \left(\frac{w'_0}{p} - \frac{mu'_0}{3p}\right) \sin pt + \left(w_0 - \frac{u_0}{3}\right) \cos pt.$$

La valeur de l'oscillation propre d'un ressort, donnée par $z_1 = \frac{v + w}{2}$, est donc, elle aussi, la résultante de trois

mouvements élémentaires ayant comme périodes respectives : $\frac{2\pi}{m}$, $\frac{2\pi}{n}$ et $\frac{2\pi}{p}$. En réalité, le mouvement résultant n'est pas aussi compliqué qu'il paraît l'être d'après ces résultats, car les valeurs de m, n et p diffèrent très peu. Calculons-les en prenant un exemple dans la pratique. Considérons une locomotive à six roues de même diamètre, d'un poids de 36 tonnes également réparti, au repos, sur chaque roue. Le poids d'un essieu monté étant supposé égal à 2.000 kilogrammes, la charge portée par chaque ressort est de 5 tonnes.

Posons donc :

$$P = 5.000 \text{ kilogrammes},$$

Flexibilité des ressorts, $K = 0{,}01$;

Demi-espacement des points de suspension (ressorts intérieurs), $a = 0^m{,}55$; espacement des deux essieux consécutifs, $b = 2^m{,}1$;

Hauteur du centre de gravité au-dessus des points de suspension : $e = 0^m{,}40$.

Nous avons :

$$m^2 = \frac{g}{PK} = 196, \qquad m = 14,$$

$$n^2 = \frac{g}{PK} - \frac{ge}{a^2} = 183{,}04, \qquad n = 13{,}5292,$$

$$p^2 = \frac{g}{PK} - \frac{3ge}{2b^2} = 194{,}667, \qquad p = 13,\ 9523.$$

Si nous calculons les périodes T_m, T_n et T_p, nous trouvons :

$$T_m = \frac{2\pi}{m} = 0'',4488,$$

$$T_n = \frac{2\pi}{n} = 0'',4643,$$

$$T_p = \frac{2\pi}{p} = 0'',4504.$$

T_m et T_p diffèrent de 16 dix-millièmes de seconde, ce qui est tout à fait négligeable. La différence entre T_m et T_n est de 0″,0155, soit environ $\frac{1}{30^e}$ de T_m; on peut aussi la négliger. En en tenant compte, on trouverait pour la période réelle, qui est le plus petit commun multiple de T_m et T_n, la valeur $30T_n = 31T_m = 13'',912$.

Dans tout ce qui suivra, nous ne tiendrons pas compte de ces différences entre les périodes, et nous supposerons que le mouvement propre d'oscillation des ressorts a pour période T_m.

On voit en même temps que l'influence de e, hauteur du centre de gravité au-dessus du plan de suspension, est négligeable, au moins dans la limite des valeurs qu'on trouve dans la pratique. Cette quantité e a seulement pour effet de modifier légèrement la valeur de la période m, elle n'est pas contenue explicitement dans les équations donnant l'amplitude des oscillations.

VII. — Influence des dénivellations de la voie sur les oscillations des ressorts.

Nous avons vu au § IV qu'une file de rails, sous le passage des roues d'une locomotive, forme approximativement une ligne dentelée telle qu'à chaque joint les roues tombent du rail d'amont sur le rail d'aval. Les deux files de rails forment des courbes différentes ordinairement. Cependant nous admettrons, pour simplifier les calculs, que ces courbes sont les mêmes, en supposant que la voie est en alignement et qu'il n'y a pas surélévation de la file de l'accotement. Par conséquent, en prenant comme origine du temps le moment où les premières roues de la machine passent sur les joints supposés concordants, on a pour les dénivellations des deux premiers rails, de droite

et de gauche :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\eta + \lambda t.$$

Les autres valeurs ε_3, ε_4, ε_5, ε_6, s'obtiennent facilement si on représente la position qu'occupe à ce moment la locomotive sur la voie. Les essieux occupent les positions

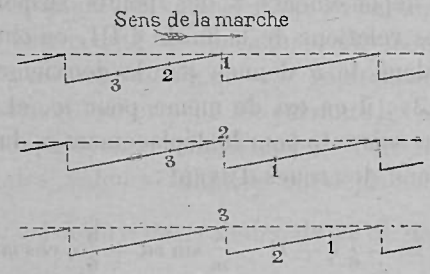


Fig. 4.

1, 2, 3, à l'origine du temps (*fig.* 4). Si on appelle τ le temps mis à parcourir un rail, et t_1 le temps mis à parcourir la distance comprise entre deux essieux consécutifs, on a évidemment pour le point 2 :

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = -\eta + \lambda(\tau - t_1 + t),$$

et pour le point 3 :

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = -\eta + \lambda(\tau - 2t_1 + t).$$

Ces valeurs des ε sont continues jusqu'au moment où le deuxième essieu arrive sur le joint. A partir de ce moment, elles sont données par les équations suivantes :

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 = \varepsilon_2 &= -\eta + \lambda(t + t_1)\\ \varepsilon_3 = \varepsilon_4 &= -\eta + \lambda t,\\ \varepsilon_5 = \varepsilon_6 &= -\eta + \lambda(\tau - t_1 + t).\end{aligned}$$

Enfin, à partir du moment où le troisième essieu passe sur le joint, on a, en admettant que la distance des

essieux extrêmes est inférieure à la longueur du rail,

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\eta + \lambda(t + 2t_1),$$
$$\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = -\eta + \lambda(t + t_1),$$
$$\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = -\eta + \lambda t.$$

Avec ces trois systèmes des valeurs des ε, nous allons calculer les déplacements z des points suspendus. En appliquant les relations de la fin du § III, on obtient facilement la valeur de u donnée par la deuxième ligne de l'équation (13) ; il en est de même pour w, et on trouve ainsi la valeur suivante pour le déplacement z_1 du point suspendu sur l'une des roues d'avant :

$$(14) \qquad z_1 = -\frac{5}{6}\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin mt + \frac{5}{6}\eta\cos mt.$$

Cette équation n'est exacte que jusqu'au moment où les roues du second essieu passent à leur tour sur le joint. A partir de ce moment, il faut considérer le second système des valeurs ε, et on a pour z_1, A et B étant des constantes arbitraires,

$$z_1 = -\eta + \lambda t_1 - \frac{\lambda\tau}{6} + \lambda t + A\sin mt + B\cos mt.$$

Pour calculer A et B, il faut faire, dans cette équation et dans sa dérivée, $t = 0$, en donnant à z_1 et à $\frac{dz_1}{dt}$ leurs valeurs initiales, qu'on obtient en faisant $t = t_1$ dans l'équation (14) et dans sa dérivée. On trouve ainsi :

$$(14\ bis) \quad z_1 = -\frac{7}{6}\eta + \lambda(t + t_1) + \frac{\eta}{3}\cos mt - \frac{\lambda}{m}\sin m(t + t_1) + \frac{5}{6}\eta\cos m(t + t_1).$$

Cette équation est valable jusqu'au passage sur le joint du troisième essieu. On trouve la valeur de z_1 à partir de ce moment de la même façon que ci-dessus, et on a :

$$(14\ ter) \quad z_1 = -\eta + \lambda(t + 2t_1) - \frac{\eta}{6}\cos mt + \frac{\eta}{3}\cos m(t + t_1) - \frac{\lambda}{m}\sin m(t + 2t_1) + \frac{5}{6}\eta\cos m(t + 2t_1).$$

Cette équation est valable jusqu'au passage du premier essieu à l'extrémité du premier rail, moment à partir duquel les mêmes valeurs des ε se reproduisent. On a donc pour le second rail et pour les suivants les mêmes valeurs de z_1 que ci-dessus, additionnées d'un terme qui est fonction des valeurs initiales du déplacement et de la vitesse, c'est-à-dire des valeurs de z_1 et de $\frac{dz_1}{dt}$ prises à la fin du rail d'amont. Ce terme a la forme :

$$\frac{z'_{01}}{m}\sin mt + z_{01}\cos mt.$$

D'après ce qui précède, les déplacements des points suspendus sont continus, malgré la discontinuité de la courbe formée par les rails.

Si nous n'avons pas obtenu l'équation générale des déplacements z_1 (il serait possible de l'établir, mais au moyen de calculs très compliqués, car l'équation d'une ligne polygonale est une série infinie), nous pouvons néanmoins construire la courbe de ces déplacements à l'aide des équations que nous venons de trouver.

Ces équations montrent que les déplacements z_1 dépendent :

1° de η, dénivellation aux joints des rails ;

2° de λ et de τ, c'est-à-dire de la vitesse et de la longueur des rails ;

3° de t_1, c'est-à-dire de l'espacement des essieux ;

4° de m, c'est-à-dire du poids suspendu et de la flexibilité des ressorts.

Nous avons établi la formule des oscillations z_1 des ressorts d'avant. Celles relatives aux ressorts des autres essieux s'en déduisent. Il suffit de calculer u et d'appliquer les formules :

$$z_3 = z_4 = \frac{u}{6},$$

$$z_5 = z_6 = \frac{u}{3} - z_4.$$

VIII. — **Loi de périodicité.**

Nous allons maintenant déterminer la loi de périodicité du mouvement. A cet effet, nous supposerons qu'à l'origine du temps les valeurs initiales de z_1 et de $\frac{dz_1}{dt}$ sont nulles (on pourrait tout aussi bien supposer qu'elles ont alors une valeur quelconque, et le raisonnement qui va suivre serait le même), et nous chercherons au bout de combien de temps elles redeviennent nulles. Les valeurs initiales successives sont celles de z_1 et de $\frac{dz_1}{dt}$ au passage du premier essieu sur les joints.

Pour avoir z_1 et $\frac{dz_1}{dt}$ au début du second rail, il faut faire dans l'équation (14 *ter*) : $t + 2t_1 = \tau$. Nous poserons :

$$z_{01} = x, \quad \text{et :} \quad \frac{z'_{01}}{m} = y.$$

Pour avoir les valeurs initiales z_{02} et z'_{02} au début du troisième rail, il suffit d'ajouter aux valeurs précédentes, z_{01} et z'_{01}, celles qu'on obtient en faisant $t = \tau$ dans le terme complémentaire :

$$\frac{z'_{01}}{m} \sin mt + z_{01} \cos mt = y \sin mt + x \cos mt,$$

et dans sa dérivée. Posons $m\tau = \alpha$.

On a :

$$z_{02} = x + y \sin\alpha + x \cos\alpha,$$

$$\frac{z'_{02}}{m} = y + y \cos\alpha - x \sin\alpha.$$

Les valeurs initiales z'_{03} et z_{03}, au début du quatrième rail, s'obtiennent en ajoutant à x et y les produits de la substitution de τ à t dans le terme complémentaire :

$$\frac{z'_{02}}{m} \sin mt + z_{02} \cos mt,$$

et dans sa dérivée.

Or, en remplaçant $\frac{z'_{02}}{m}$ et z_{02} par leurs valeurs en fonction de x et de y, on a :

$$z_{03} = x + (y + y\cos\alpha - x\sin\alpha)\sin\alpha + (x + y\sin\alpha + x\cos\alpha)\cos\alpha,$$

$$\frac{z'_{03}}{m} = y + (y + y\cos\alpha - x\sin\alpha)\cos\alpha - (x + y\sin\alpha + x\cos\alpha)\sin\alpha.$$

La loi de formation des valeurs successives $\frac{z'_{04}}{m}$, z_{04}, $\frac{z'_{05}}{m}$, z_{05}, etc., apparaît évidente.

Pour écrire le terme général, nous transformerons les expressions obtenues. Il est facile de voir que z_{03} peut s'écrire :

$$z_{03} = x\,(1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha), \\ + y\,(\sin\alpha + \sin 2\alpha),$$

et $\frac{z'_{03}}{m}$:

$$\frac{z'_{03}}{m} = y\,(1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha), \\ - x\,(\sin\alpha + \sin 2\alpha).$$

On obtient de même pour z_{04} et $\frac{z'_{04}}{m}$:

$$z_{04} = x\,(1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha + \cos 3\alpha), \\ + y\,(\sin\alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha),$$

$$\frac{z'_{04}}{m} = y\,(1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha + \cos 3\alpha), \\ - x\,(\sin\alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha).$$

Dès lors les termes généraux sont évidemment :

$$z_{0n} = x\,[1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha + \ldots + \cos(n-1)\alpha],$$
$$+ y\,[\quad \sin\alpha + \sin 2\alpha + \ldots + \sin(n-1)\alpha],$$
$$\frac{z'_{0n}}{m} = y\,[1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha + \ldots + \cos(n-1)\alpha]$$
$$- x\,[\quad \sin\alpha + \sin 2\alpha + \ldots + \sin(n-1)\alpha].$$

Nous avons des sommes de sinus et de cosinus d'arcs en progression arithmétique. On peut donc simplifier les expressions ci-dessus en se servant des formules connues :

$$S_1 = \sin\alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha + \ldots + \sin(n-1)\alpha = \frac{\sin(n-1)\frac{\alpha}{2}\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$S_2 = 1 + \cos\alpha + \cos 2\alpha + \ldots + \cos(n-1)\alpha = \frac{\cos(n-1)\frac{\alpha}{2}\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}.$$

Et il vient :

$$z_{0n} = x\frac{\cos(n-1)\frac{\alpha}{2}\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} + y\frac{\sin(n-1)\frac{\alpha}{2}\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$
$$= \frac{\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}\left[x\cos(n-1)\frac{\alpha}{2} + y\sin(n-1)\frac{\alpha}{2}\right],$$

$$\frac{z'_{0n}}{m} = y\frac{\cos(n-1)\frac{\alpha}{2}\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} - x\frac{\sin(n-1)\frac{\alpha}{2}\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$
$$= \frac{\sin\frac{n\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}\left[y\cos(n-1)\frac{\alpha}{2} - x\sin(n-1)\frac{\alpha}{2}\right]$$

Il est à noter que ces formules ne sont valables que si $\sin\frac{\alpha}{2}$ est différent de zéro. Dans le cas contraire, l'examen de la série initiale montre qu'on a :

$$z_{0n} = nx, \qquad \frac{z'_{0n}}{m} = ny.$$

Ces valeurs sont donc indéfiniment croissantes avec n, c'est-à-dire avec le temps.

On aura, comme nous l'avons dit plus haut, la période du mouvement, si on trouve un nombre entier n tel que z_{0n} et z'_{0n} s'annulent à la fois. On reconnait tout de suite qu'il est impossible d'annuler simultanément les termes entre parenthèses. Mais z_{0n} et z'_{0n} seront nuls si on fait :

$$\sin\frac{n\alpha}{2} = 0.$$

ou :

$$\frac{n\alpha}{2} = q\pi, \tag{15}$$

q étant un nombre entier quelconque.

Nous avons posé plus haut : $\alpha = m\tau = \frac{ml}{V}$, l étant la longueur du rail, et V la vitesse en mètres par seconde.

Le problème de la périodicité des oscillations revient donc à résoudre en nombres entiers l'équation indéterminée :

$$\frac{nml}{V} = 2q\pi, \qquad \text{ou bien :} \qquad \frac{n}{q} = \frac{2\pi V}{ml}.$$

Pour trouver n et q, il n'y a qu'à convertir la quantité $\frac{2\pi V}{ml}$ en une fraction irréductible, dont le numérateur sera la valeur de n. La période du mouvement est le temps mis à parcourir n rails et est, par suite, égale à $\frac{nl}{V} = q\frac{2\pi}{m}$, c'est-à-dire égale à un multiple entier de la période d'oscillation propre des ressorts.

On peut résoudre graphiquement l'équation (15). Il

suffit de porter sur un cercle (*fig.* 5), à partir de l'origine O, l'arc $\frac{\alpha}{2} = OA$, puis le même arc $AA' = \frac{\alpha}{2}$,

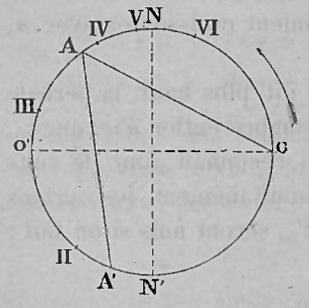


Fig. 5.

à partir de A, et de continuer l'inscription du polygone régulier ayant pour côté OA, jusqu'à ce que l'un des sommets de ce polygone coïncide soit avec le point O, soit avec le point O'.

On aura alors, si n est le nombre des côtés, $\frac{n\alpha}{2} = q\pi$.

L'opération s'effectue très facilement et très rapidement à l'aide du compas. Elle présente, comme nous le verrons plus loin, des avantages particuliers pour l'étude de l'amplitude des oscillations.

Exemples de la détermination de la période. — Posons : $l = 5^m,50$, et supposons qu'on ait : $m = \sqrt{\frac{g}{PK}} = 6\pi$, ce qui, pour une charge des ressorts de 5 tonnes, correspond à un coefficient de flexibilité K, peu inférieur à 0,006. C'est là la valeur ordinaire de la flexibilité des ressorts de locomotives. La période des oscillations propres des ressorts est : $T_m = \frac{2\pi}{m} = \frac{1}{3}$ de seconde.

Pour cette valeur de m, on a :

$$\frac{n}{q} = \frac{2\pi V}{ml} = \frac{V}{3l} = \frac{V}{3 \times 5,5} = \frac{V}{16,5}.$$

Considérons des vitesses de un à six tours par seconde qui, avec des roues motrices de 2 mètres de diamètre, donnent pour V les nombres suivants :

$6^m,2822 — 12,5664 — 18,85 — 25,13 — 31,41 — 37,699,$

ou en kilomètres à l'heure :

$22^{km},619 — 45,237 — 67,86 — 90,46 — 113,095 — 135,72.$

Pour une vitesse d'un tour par seconde, nous avons :

$$\frac{n}{q} = \frac{6,2832}{16,5} = 0,3808.$$

Cette fraction ne diffère de $\frac{8}{21} = 0,380952$ que d'une quantité inférieure à 0,0002. Par conséquent, on peut poser : $\frac{n}{q} = \frac{8}{21}$, $n = 8$ rails et la période est de : $\frac{8l}{V} = 7'',0028$, soit simplement sept secondes.

Pour la vitesse de deux tours par seconde, on a :

$$\frac{n}{q} = \frac{2 \times 6,2832}{16,5} = \frac{16}{21};$$

donc $n = 16$ rails. Le nombre de rails a doublé, mais le temps mis à parcourir un rail ayant diminué de moitié, la période est toujours de sept secondes.

On voit aisément que, tant que le nombre de tours n'a pas de diviseur commun avec 21, la période a la même durée ou une durée plus grande, au cas où le nombre de tours est fractionnaire.

Par exemple, quand la vitesse est de trois tours, on a :

$$\frac{n}{q} = \frac{3 \times 8}{21} = \frac{8}{7},$$

d'où : $n = 8$. La période est alors de : $\frac{7''}{3} = 2'' \frac{33}{100}$.

Pour une vitesse de trois tours et demi, on a :

$$\frac{n}{q} = \frac{3,5 \times 8}{21} = \frac{4}{3},$$

$n = 4$, et la période est de $1'' \frac{165}{1.000}$.

Supposons maintenant que les rails aient 11 mètres de longueur, au lieu de $5^m,50$. Il n'y a qu'à diviser par 2 la fraction $\frac{V}{3l} = \frac{8}{21}$. Par conséquent, le nombre de rails correspondant à chaque période est moitié moindre, et les durées des périodes sont les mêmes que ci-dessus. Ce résultat tient à ce que le numérateur de la fraction irréductible est pair.

Supposons encore que les rails aient 8 mètres de longueur. On a, pour la vitesse d'un tour par seconde :

$$\frac{n}{q} = \frac{V}{3l} = \frac{6,2832}{24} = 0,2618.$$

Or : $\frac{6}{23} = 0,26807$. La fraction irréductible $\frac{6}{23}$ ne diffère de $\frac{n}{q}$ que de 0,00093. Donc $n = 6$, et la période est d'environ $7'' \frac{65}{100}$.

L'examen de la méthode graphique va nous conduire, lui aussi, à des résultats intéressants concernant les périodes.

Les valeurs de $\frac{\alpha}{2} = \frac{m\tau}{2}$, pour des vitesses de deux, trois, quatre, cinq et six tours par seconde sont :

$$\pi + 56°30' - \frac{\pi}{2} + 67°30' - \frac{\pi}{2} + 28° - \frac{\pi}{2} + 4°30' - 79°.$$

En portant ces angles sur un cercle à partir de l'origine O dans le sens de la flèche (*fig.* 5), nous obtenons les points II, III, IV, V, VI.

Pour une vitesse absolument quelconque comprise entre deux et six tours, le point représentatif de $\frac{\alpha}{2}$ se trouve entre les points II et VI. Réciproquement, tout point

situé entre II et VI correspond à une certaine vitesse. Or, la recherche du nombre de rails de la période revient à l'inscription d'un polygone régulier dont le côté est la corde de l'arc $\frac{\alpha}{2}$. Cet arc pouvant avoir toutes les valeurs possibles, le nombre n de côtés des polygones inscrits peut varier de 1 à l'infini.

Par exemple $n = 1$ pour $\frac{m\tau}{2} = \pi$, d'où : $V = 16^m,5$ ($59^{km},4$ à l'heure). Il y a lieu de remarquer que, dans ce cas, la période $\frac{2\pi}{m}$ des oscillations propres des ressorts est égale à la période $\tau = \frac{l}{V}$ de la fonction qui représente la courbe formée par la voie. Le mouvement n'est alors plus périodique, mais une fonction du temps indéfiniment croissante.

Si, théoriquement, la période peut avoir une valeur quelconque, en pratique, lorsque n est grand, il y a toujours des sous-périodes approximatives qui, seules, sont intéressantes à considérer.

IX. — **Amplitude des oscillations.**

La valeur z_1 des déplacements est formée de deux parties, dont l'une ζ_0, donnée par la série d'équations (14), (14 *bis*), (14 *ter*) (§ VII), reste la même pour chaque rail et dont l'autre, ζ_{i+1}, formée par le terme complémentaire dépendant des valeurs initiales, varie d'un rail à l'autre.

Pour le $i+1^e$ rail, on a :

$$z_1 = \zeta_0 + \frac{z'_{0i}}{m} \sin mt + z_{0i} \cos mt = \zeta_0 + \zeta_{i+1}.$$

En remplaçant $\frac{z'_{oi}}{m}$ et z_{oi} par leurs valeurs en fonction de x et y, il vient :

$$(16)\quad \zeta_{i+1} = \frac{\sin\frac{i\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} \left\{ \left[y\cos(i-1)\frac{a}{2} - x\sin(i-1)\frac{\alpha}{2} \right] \sin mt + \left[x\cos(i-1)\frac{\alpha}{2} + y\sin(i-1)\frac{\alpha}{2} \right] \cos mt \right\}$$

La demi-amplitude Δ du mouvement représenté par ζ_{i+1} est donnée par :

$$\Delta^2 = \frac{\sin\frac{i\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} \left\{ \left[y\cos(i-1)\frac{\alpha}{2} - x\sin(i-1)\frac{\alpha}{2} \right]^2 + \left[x\cos(i-1)\frac{\alpha}{2} + y\sin(i-1)\frac{\alpha}{2} \right]^2 \right\}$$

ou, en réduisant et prenant la racine carrée,

$$\Delta = \frac{\sin\frac{i\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} \sqrt{x^2+y^2}.$$

Ainsi l'amplitude de l'oscillation complémentaire se compose d'un facteur constant, $\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$, et d'un facteur variable avec i, numéro d'ordre du rail. L'amplitude sera maxima lorsqu'on aura :

$$\sin\frac{i\alpha}{2} = 1,$$

ou :

$$\frac{i\alpha}{2} = (2p+1)\frac{\pi}{2}.$$

relation qui permet de déterminer i. Cette détermination est très facile par la méthode graphique qui sert à trouver la période. Toutes les fois qu'un sommet du polygone inscrit tombera en N ou N′, c'est-à-dire en $\frac{\pi}{2}$ ou $\frac{3\pi}{2}$ (*fig.* 5), le numéro d'ordre de ce sommet à partir de l'origine O donnera la valeur de i. En pratique, il ne sera pas nécessaire que le sommet du polygone tombe exactement en N ou N′ ; il suffira qu'il soit voisin de l'un ou l'autre de ces deux points.

La valeur de t pour laquelle ζ_{i+1} est égale à Δ est donnée par l'expression :

$$\operatorname{tg} mt = \frac{y\cos(i-1)\frac{\alpha}{2} - x\sin(i-1)\frac{\alpha}{2}}{y\sin(i-1)\frac{\alpha}{2} + x\cos(i-1)\frac{\alpha}{2}},$$

dans laquelle il faut faire $\frac{i\alpha}{2} = (2p+1)\frac{\pi}{2}$, ce qui donne :

$$\operatorname{tg} mt = \frac{y\sin\frac{\alpha}{2} - x\cos\frac{\alpha}{2}}{y\cos\frac{\alpha}{2} + x\sin\frac{\alpha}{2}}.$$

Pour que ζ_{i+1} puisse réellement devenir maximum, il faut que la valeur de t, donnée par $\operatorname{tg} mt$, soit plus petite que τ, durée de parcours d'un rail. Or, à une valeur quelconque de $\operatorname{tg} mt$ correspond toujours un arc mt, compris entre 0 et π. Pour qu'on soit certain d'avoir : $mt < m\tau$, il suffira que l'arc $m\tau$ soit supérieur à π. La relation $m\tau = \pi$, ou $\frac{ml}{V} = \pi$, donnera la valeur de la vitesse limite correspondante.

Ce qui précède nous donne le moyen de trouver le maximum du terme complémentaire ζ_{i+1}. Il s'agit maintenant de chercher le maximum de $z_1 = \zeta_0 + \zeta_{i+1}$.

Les valeurs de ζ_0 sont données par les équations (14), (14 *bis*), (14 *ter*), qui sont trop compliquées pour qu'on puisse en dégager directement, d'une manière simple, les conclusions que nous cherchons. Aussi est-il préférable de construire graphiquement la courbe ζ_0.

Lorsque la courbe formée par la voie est celle que nous avons supposée au § IV, les ordonnées ζ_0 sont toujours négatives, sauf lorsque mt peut devenir plus grand que $\frac{3\pi}{2}$, ce qui exige que $m\tau$ le soit également. Elles passent par un seul maximum.

Pour avoir les valeurs maxima de z_1, soit positives, soit négatives, il suffira de construire la résultante de la courbe ζ_0 et de la courbe complémentaire ζ_{i+1}, correspondant à la valeur de i:

$$\frac{i\alpha}{2} = (2p+1)\frac{\pi}{2}.$$

Variation de l'amplitude avec la vitesse. — Nous avons vu plus haut que, lorsque $\sin\frac{\alpha}{2} = 0$, les valeurs initiales successives z_{0n} et z_{0n} sont égales à nx et ny, c'est-à-dire augmentent indéfiniment avec le temps. Le mouvement n'est plus alors périodique, mais se compose d'une succession d'oscillations à amplitude toujours croissante. L'équation de ce mouvement pour le $n+1^e$ rail est :

$$z_1 = \zeta_0 + ny \sin mt + nx \cos mt.$$

En réalité, les déplacements ne peuvent pas augmenter indéfiniment, et ce qui précède signifie simplement qu'ils atteignent leur maximum pour la vitesse correspondant à : $\sin\frac{\alpha}{2} = 0$; d'où : $\alpha = m\tau = 2q\pi$, ou bien : $\tau = q\cdot\frac{2\pi}{m}$. Ainsi, ce maximum a lieu lorsque la période $\frac{2\pi}{m}$ des

oscillations propres des ressorts est égale à la période τ, ou à un sous-multiple entier de cette période τ de la fonction représentant la courbe formée par la voie. La relation $\tau = \frac{l}{V} = \frac{2\pi}{m}$ donne la valeur de la vitesse qui correspond aux plus grandes ocillations. On peut appeler cette vitesse « la vitesse critique » de la locomotive.

Ce résultat était facile à prévoir, parce qu'il est la conséquence d'un principe de mécanique qui a été démontré par M. Vicaire, inspecteur général des Mines, et dont l'énoncé est le suivant :

« Lorsqu'on fait agir une force perturbatrice sur un système matériel animé de petits mouvements à partir de la position d'équilibre stable, si la période de la force perturbatrice tend vers celle de l'une des oscillations simples propres au système, l'amplitude de la perturbation devient de plus en plus grande. A la limite, la perturbation se confond avec l'oscillation simple correspondante, dont l'amplitude augmente indéfiniment avec le temps.

« Il faut entendre indéfiniment en ce sens que l'amplitude sort des limites dans lesquelles les équations linéaires restent suffisamment approchées. » (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 12 janvier 1891.)

Pour étudier complètement la variation de l'amplitude avec la vitesse, il est nécessaire de construire les courbes représentatives des valeurs x, y et Δ.

La recherche du minimum de l'amplitude n'offre pas moins d'intérêt que celle du maximum.

En construisant la courbe des déplacements primaires ζ_0, pour différentes vitesses, on reconnaît (comme on le verra plus loin) que le maximum de ζ_0 ne varie pas sensiblement avec la vitesse. Par conséquent, on aura le minimum de l'amplitude quand ce maximum de ζ_0 ne pourra pas être dépassé, c'est-à-dire quand le terme complémentaire sera nul.

Comme il ne peut pas l'être pour le second rail, car x et y ne s'annulent pas en même temps, cela revient à dire que la période doit être simplement de deux rails. Dans ce cas, on a : $\frac{\zeta}{2} = \pi$, ou : $V = \frac{ml}{\pi}$. La vitesse correspondante est donc le double de la vitesse critique.

On voit finalement que l'amplitude des oscillations doit augmenter jusqu'à la vitesse critique, pour diminuer ensuite à mesure que la vitesse croît.

Exemple de la détermination des amplitudes. — Pour éclaircir ce qui précède, nous allons en faire une application numérique.

Supposons que $r_i = 4$ millimètres et que l'espacement des essieux soit de $2^m,1$, toutes les autres données restant les mêmes qu'au § VIII.

Nous construisons d'abord les courbes ζ_0 pour des vitesses de deux, trois, quatre et cinq tours par seconde. Elles sont représentées sur la *fig.* 4, Pl. XII.

On voit que, à partir de l'origine, ces courbes se confondent presque, que leur maximum a sensiblement la même valeur et correspond à une même abscisse : $t = 0'',165$, ou $mt = \pi$. Les valeurs x sont les ordonnées 2, 3, 4, 5, des extrémités de ces courbes. On calcule aussi les valeurs de y et on construit les courbes x et y (*fig.* 5, Pl. XII), en fonction de la vitesse. Enfin, de ces deux dernières, on déduit la courbe $\Delta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$, qui nous donne la variation de l'amplitude du mouvement complémentaire. Cette courbe se compose de deux branches ayant pour asymptote l'ordonnée correspondant à la vitesse critique.

On voit que la valeur Δ diminue quand la vitesse augmente.

On a vu plus haut que le maximum d'amplitude du

mouvement complémentaire ζ_{i+1} se produit lorsqu'on a :

$$\sin \frac{i\alpha}{2} = 1, \qquad \text{ou :} \qquad \frac{i\alpha}{2} = (2p + 1)\frac{\pi}{2},$$

et la valeur de t pour laquelle ζ_{i+1} est égal à la demi-amplitude est donnée par :

$$\text{(17)} \qquad \operatorname{tg} mt = \frac{\pm \left(y \sin \frac{\alpha}{2} - x \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{\pm \left(y \cos \frac{\alpha}{2} + x \sin \frac{\alpha}{2} \right)}.$$

Le numérateur et le dénominateur ont toujours même signe, mais le signe de chacun est + ou —, suivant que p est pair ou impair.

Si l'on calcule les valeurs de arc tg mt, on voit qu'elles sont toujours comprises, pour les vitesses plus grandes que la vitesse critique, et sauf au voisinage de cette dernière, entre $\frac{\pi}{2} + 45°$ et π et entre $\frac{3\pi}{2} + 45°$ et 2π. Par suite, l'amplitude du mouvement complémentaire correspond, à peu près, à la plus grande valeur négative du déplacement primaire ζ_0, qui se présente par $mt = \pi$.

Seulement, pour toutes les vitesses supérieures à la vitesse critique, la valeur $\zeta_{i+1} = \Delta$ est positive. En effet, reportons-nous à l'équation (16) donnant ζ_{i+1}. Sin $\frac{\alpha}{2}$ est toujours positif, puisque $\alpha < 2\pi$. En calculant les expressions : $y \sin \frac{\alpha}{2} - x \cos \frac{\alpha}{2}$ et $y \cos \frac{\alpha}{2} + x \sin \frac{\alpha}{2}$, à l'aide des courbes de la *fig.* 5, Pl. XII, on trouve que la première est toujours positive et la seconde toujours négative à partir de la vitesse critique. Elles conservent leurs signes dans la valeur de ζ_{i+1}, lorsqu'on a : $\frac{i\alpha}{2} = 2q\pi + \frac{\pi}{2}$; par suite, l'expression entre accolades dans ζ_{i+1} est positive, sin mt étant positif, et cos mt négatif, pour la

valeur de tg mt donnée par (17). D'autre part, sin $\frac{i\alpha}{2}$ est positif et, par suite, ζ_{i+1} l'est également. Lorsqu'au contraire $\frac{i\alpha}{2} = 2q\pi + \frac{3\pi}{2}$, l'expression entre accolades est toujours négative, et sin $\frac{i\alpha}{2} = -1$. Le produit ζ_{i+1} est donc encore positif.

En résumé, le terme complémentaire acquiert entre $\frac{\pi}{2} + 45°$ et π (cela étant les valeurs de mt) la valeur Δ positive. Au même moment, la valeur ζ_0 est voisine de sa plus grande valeur négative, et le déplacement positif correspondant (donnant la décharge de la roue) est : $\Delta - \zeta_0$.

Le terme complémentaire peut aussi acquérir la valeur Δ négative, pourvu que la valeur de arc tg mt, comprise entre $\frac{3\pi}{2} + 45°$ et 2π, soit plus petite que l'arc $m\tau$, ce qui exige que la vitesse soit au plus égale à $18^m,85$. Par exemple, pour $m\tau = 2\pi - \frac{\pi}{8}$, ce qui correspond à une vitesse de $17^m,5929$, ou $63^{km},330$ à l'heure, la période est de seize rails ; au neuvième rail, le terme complémentaire atteint la valeur positive Δ, qui est égale à $+ 16^{mm},8$. La valeur de ζ_0 est — 5 millimètres. Donc, le poids suspendu s'est élevé de la quantité $z_1 = 16,8 - 5 = 11^{mm},8$ au-dessus de sa position moyenne. D'autre part, au même instant, l'abaissement du rail et, par suite, de la roue ou de la base inférieure du ressort est de 2 millimètres. Par suite, la flèche du ressort a augmenté en tout de $11,8 + 2 = 13^{mm},8$, et la tension du ressort, 5.000 kilogrammes à l'état statique, a diminué de : $\frac{13,8}{6} = 2^{tonnes},300$.

Dans le même cas, pour $mt' = 2\pi - 49°14'$, ζ_{i+1} atteint

la valeur négative $\Delta = 16^{mm},8$. A ce moment, $\zeta_0 = 0$, $\varepsilon_1 = 0^{mm},5$. Donc : $z_1 - \varepsilon_1 = -16,8 + 0,5 = -K\theta_1$, et la surcharge de chaque roue d'avant est : $\theta_1 = \frac{16,3}{6}$, soit 2.716 kilogrammes.

Lorsqu'on admet, comme nous l'avons fait au § IV, que la roue tombe du rail d'amont sur le rail d'aval, la surcharge de la roue est toujours un peu plus élevée que la décharge.

On voit en définitive que, avec des dénivellations des rails de 4 millimètres, dénivellations relativement faibles se présentant normalement sur les voies bien entretenues, la tension des ressorts des roues d'avant et, par suite, la pression que ces roues exercent sur les rails varient dans des limites considérables. On peut même affirmer qu'au voisinage d'une certaine vitesse la tension des ressorts s'annule périodiquement et qu'alors les roues n'appuient sur la voie que dans la limite de leur poids propre. Encore n'est-il pas certain que les ressorts ne puissent prendre une tension négative.

Cette vitesse critique, qui est très dangereuse au point de vue de la sécurité, est donnée, comme on l'a vu plus haut, par l'équation $m\tau = 2\pi$, d'où :

$$\frac{l}{V}\sqrt{\frac{g}{PK}} = 2\pi,$$

ou, enfin,

$$V = \frac{l}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{PK}}.$$

l étant la longueur des rails ; P, le poids suspendu sur chaque ressort ; K, le coefficient de flexibilité.

La vitesse V est donc proportionnelle à la longueur des rails et en raison inverse de la racine carrée du poids suspendu et de la flexibilité. Elle est indépendante du diamètre des roues.

Le coefficient de flexibilité des roues de locomotive est ordinairement de 5 à 6 millimètres, et le poids suspendu, en moyenne de 5.000 kilogrammes par roue, soit 10 tonnes par essieu. Dans ces conditions, les vitesses critiques sont :

Avec des rails de	$5^{m},50$.....	$59^{km},400$ à l'heure
—	$6^{m},00$.....	$64^{km},800$ —
—	$8^{m},00$.....	$86^{km},400$ —
—	$11^{m},00$.....	$118^{km},800$ —

On arrive ainsi à cette conclusion frappante : que la moins bonne stabilité de la plupart des locomotives correspond précisément aux vitesses usuelles des trains de voyageurs.

Un des grands avantages des rails longs est de reculer la vitesse critique.

X. — Influence des réactions des glissières sur les oscillations des ressorts.

Nous avons vu au § V que, si on appelle F_1 et F_2 les réactions des glissières, on peut poser :

$$F_1 + F_2 = A + B \sin 2\pi n\,(4t - \varphi),$$
$$F_1 - F_2 = C \sin 2\pi n\,(2t - \varphi),$$

n étant le nombre de tours par seconde ; A, B, C, des coefficients dépendant des données. Quand on prend comme origine du temps le moment où l'un des pistons est au point mort avant, la phase φ a une très petite valeur. Il suffit de reporter l'origine du temps un peu après ledit point mort pour qu'on puisse admettre que φ est nul.

Nous obtiendrons les oscillations des ressorts dues à la pression de la tête du piston sur les glissières en portant les valeurs de $F_1 + F_2$ et $F_1 - F_2$ dans les expressions de u, v et w (§§ III et VI) et en effectuant les intégrations. On trouve ainsi, les quantités M et N étant les constantes de l'intégration,

$$u = AK + M \sin mt + N \cos mt - \frac{BKm^2}{(8\pi n)^2 - m^2} \sin 8\pi nt,$$

$$v = M_1 \sin mt + N_1 \cos mt - \frac{1}{3}\frac{CKm^2}{(4\pi n)^2 - m^2} \sin 4\pi nt,$$

$$w = \left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right) AK + M_2 \sin mt + N_2 \cos mt - \frac{C}{3}\frac{Km^2}{(4\pi n)^2 - m^2} \sin 4\pi nt - \left(\frac{\delta}{2b} + \frac{2}{3}\right)\frac{BKm^2}{(8\pi n)^2 - m^2} \sin 8\pi nt,$$

d'où on déduit pour $z_1 = \dfrac{v + w}{2}$:

$$2z_1 = \left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right) AK + M_0 \sin mt + N_0 \cos mt - \frac{2C}{3}\frac{Km^2}{(4\pi n)^2 - m^2} \sin 4\pi nt - \left(\frac{\delta}{2b} + \frac{2}{3}\right)\frac{BKm^2}{(8\pi n)^2 - m^2} \sin 8\pi nt.$$

Ces expressions impliquent les conditions : $4\pi n \lessgtr m$ et $8\pi n \gtrless m$, c'est-à-dire que le nombre de tours doit être différent de $\frac{3}{4}$ et de $\frac{3}{2}$. Sinon, les intégrales auraient une autre forme et contiendraient un terme proportionnel à t.

Pour trouver les constantes M_0 et N_0, nous supposerons que les valeurs initiales de z_1 et de $\dfrac{dz_1}{dt}$ sont nulles. On obtient alors :

$$N_0 = -\left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right) AK,$$

$$M_0 = 4\pi n \frac{C}{3}\frac{Km}{(4\pi n)^2 - m^2} + 8\pi n \left(\frac{2b}{\delta} + \frac{2}{3}\right)\frac{BKm}{(8\pi n)^2 - m^2}.$$

Le mouvement représenté par z_1 est la résultante de trois mouvements simples ayant pour périodes respectives $\frac{2\pi}{m}$, $\frac{1}{2n}$ ou un demi-tour, et $\frac{1}{4n}$ ou un quart de tour. Ces

deux derniers mouvements peuvent être confondus en un seul de période $\frac{1}{2n}$. La période du mouvement total sera donc le plus petit commun multiple entier des quantités $\frac{2\pi}{m}$ et $\frac{1}{2n}$. Si $\frac{2\pi}{m} = \frac{1}{p}$, p étant un nombre entier autre qu'un multiple de 2, la période commune est la durée d'un tour.

On peut considérer l'expression de z_1 comme se composant d'un terme $\left(\frac{\delta}{2b} + \frac{1}{3}\right)$ AK $(1 - \cos mt)$ qui ne contient pas la vitesse n, et d'une série d'autres termes ayant en dénominateur $(4\pi n)^2 - m^2$ et $(8\pi n)^2 - m^2$. Ces termes diminuent de plus en plus à mesure que la vitesse augmente.

Application numérique. — Si nous supposons, comme précédemment, $m = 6\pi$, la période des termes en sin mt et cos mt est $\frac{1}{3}$ de seconde. Si le nombre de tours est de trois ou de six, la période totale est aussi d'un tiers de seconde. Pour $n = 3$, les valeurs de $F_1 + F_2$ et $F_1 - F_2$ sont représentées dans la *fig.* 2, Pl. XII; elles ont pour équations :

$$F_1 + F_2 = 2{,}9 + 1{,}2 \sin 8\pi nt,$$
$$F_1 - F_2 = 5{,}4 \sin 4\pi nt.$$

En supposant : $\delta = 1^m{,}80$, $b = 2^m{,}10$, et pour les autres données les valeurs admises précédemment, on peut construire la courbe z_1 (*fig.* 6, Pl. XII).

On voit que le maximum de z_1 est de 6 millimètres, ce qui provoque une diminution de tension du ressort de 1.000 kilogrammes.

Pour la vitesse de quatre tours par seconde, le maximum de z_1 est seulement de $3^{mm}{,}25$.

Il est aisé de voir, en vertu du théorème de M. Vicaire cité au § IX, que les oscillations dues aux réactions sur les glissières ont leur amplitude maxima lorsque la période réelle $\frac{1}{n}$ de ces réactions est égale à $\frac{2\pi}{m}$, période des oscillations propres des ressorts. En prenant pour les forces $F_1 + F_2$ et $F_1 - F_2$ des expressions approchées, dans lesquelles la période n'est plus que $\frac{1}{2n}$ et $\frac{1}{4n}$, nous avons trouvé d'une façon détournée la valeur approximative du maximum de l'amplitude et nous voyons que, dans l'exemple numérique choisi, il correspond à une diminution de tension des ressorts d'avant de 1.000 kilogrammes.

D'autre part, nous avons montré plus haut que l'influence des dénivellations de la voie est bien plus importante. Il en résulte que, dans l'étude de la stabilité des locomotives, c'est cette dernière cause dont il importe surtout d'apprécier les effets.

XI. — Influence de la différence de flexibilité des ressorts.

Si, dans les équations (2) du § I, la valeur de la flexibilité K n'était pas la même pour tous les ressorts, le système serait pratiquement insoluble. Cependant, il importe de savoir ce qui arrive quand la flexibilité n'est pas la même, puisque, ordinairement, la flexibilité des ressorts des essieux moteurs est différente de celle des ressorts des autres essieux.

Nous résoudrons le problème pour le cas particulier d'une machine à trois essieux, également chargés et équidistants, dans laquelle le centre de gravité du poids suspendu se trouverait dans le plan des ressorts. On a vu, à la fin du § VI, que cette hypothèse ne diminue en rien l'exactitude du résultat.

Soient K′ la flexibilité des ressorts de l'essieu d'avant (porteur), et K celle des ressorts des deux autres essieux (moteurs).

En admettant qu'on étudie seulement les oscillations provoquées par la courbure de la voie, supposée la même pour chaque file de rails, le système des équations (1) et (2) du § I se réduit au système suivant :

$$\frac{P}{g}\frac{d^2z_1}{dt^2} = \theta_1 - \pi_1, \qquad z_1 - \varepsilon_1 = -K'\theta_1,$$
$$\frac{P}{g}\frac{d^2z_2}{dt^2} = \theta_2 - \pi_2, \qquad z_2 - \varepsilon_2 = -K\theta_2,$$
$$\frac{P}{g}\frac{d^2z_3}{dt^2} = \theta_3 - \pi_3, \qquad z_3 - \varepsilon_3 = -K\theta_3;$$

et les équations de condition sont :

$$z_2 - z_1 = z_3 - z_2,$$
$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 0,$$
$$\pi_1 - \pi_3 = 0.$$

La résolution de ce système conduit à l'équation suivante en z_1 :

$$\frac{d^2z_1}{dt^2} + \frac{g}{6P}\left(\frac{1}{K} + \frac{5}{K'}\right)z_1 = E_1,$$

dans laquelle :

$$E_1 = \frac{g}{6P}\left(\frac{5\varepsilon_1}{K'} - \frac{\varepsilon_3}{K} + \frac{2\varepsilon_2}{K}\right).$$

Le déplacement z_1 est une fonction trigonométrique de l'arc $m_1 t$, m_1, ayant la valeur :

$$m_1 = \sqrt{\frac{g}{6P}\left(\frac{1}{K} + \frac{5}{K'}\right)}.$$

Si $K = K'$, m_1 se réduit, comme cela doit être, à $\sqrt{\frac{g}{PK}}$.

La période de l'oscillation propre des ressorts d'avant est $\frac{2\pi}{m_1}$. Pour qu'elle soit plus longue que celle correspondant à une même flexibilité de tous les ressorts, il faut qu'on ait :

$$\sqrt{\frac{g}{6P}\left(\frac{1}{K} + \frac{5}{K'}\right)} < \sqrt{\frac{g}{PK}},$$

d'où : $K' > K$.

Ainsi, en augmentant la flexibilité des ressorts de l'un des essieux, on augmente la durée de la période fondamentale.

Lorsqu'on pose : $\varepsilon_1 = -\eta + \lambda t$, les autres valeurs ε étant supposées nulles, l'oscillation z_1 est donnée par l'équation suivante, que nous appellerons équation primaire :

$$z_1 = \frac{1}{1 + \frac{K'}{5K}}\left(-\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin mt + \eta\cos mt\right).$$

Dans le cas où la flexibilité est la même pour tous les ressorts, le coefficient $\frac{1}{1 + \frac{K'}{5K}}$ se réduit à $\frac{5}{6}$.

Par conséquent, le rapport des valeurs maxima de z_1 (indépendantes de m ou de m_1), quand la flexibilité est différente et quand elle est la même, est $\frac{1 + \frac{1}{5}}{1 + \frac{K'}{5K}}$. Si $K' > K$, ce rapport est plus petit que 1. Par conséquent, lorsque la flexibilité des ressorts d'avant est plus grande que celle des autres ressorts, l'amplitude des oscillations des premiers est moins grande que lorsque la flexibilité est partout la même. Cette diminution d'amplitude n'est, d'ailleurs, sensible que si la flexibilité est très différente. Ainsi, en posant $K' = 2K$, le rapport est de $\frac{6}{7}$ et, en posant $K' = 5K$, le rapport est de $\frac{6}{10}$.

Supposons maintenant que l'essieu à flexibilité K′ soit l'essieu d'arrière, et cherchons les oscillations de l'avant, ou, ce qui revient au même, les valeurs de z_3 sous l'effet d'une dénivellation : $\varepsilon_3 = -\eta + \lambda t_1$, en convenant maintenant que l'essieu à indice 3 est l'essieu d'avant.

Pour résoudre le système d'équations, il faut d'abord calculer la valeur de z_1, qui est :

$$z_1 = -\frac{g}{6PK}\frac{1}{m_1^2}\left(-\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin m_1 t + \eta \cos m_1 t\right).$$

Puis, on en déduit la valeur de z_3 qui est, en posant

$$\sqrt{\frac{g}{PK}} = m :$$

$$z_3 = \frac{4K + K'}{5K + K'}\left(-\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin mt + \eta \cos mt\right)$$
$$+ \frac{K'}{5K\,(5K + K')}\left[-\frac{\lambda}{m_1}\sin m_1 t + \frac{\lambda}{m}\sin mt + \eta(\cos m_1 t - \cos mt)\right].$$

Ainsi le déplacement z_3 se compose de deux oscillations simples ayant pour périodes $\frac{2\pi}{m}$ et $\frac{2\pi}{m_1}$.

Il y a, par suite, deux valeurs de la vitesse critique données par les relations :

$$V_1 = \frac{m_1 l}{2\pi}. \qquad V = \frac{ml}{2\pi}.$$

la première étant plus petite que la seconde, si $K' > K$.

Le premier terme de z_3 ayant pour coefficient $\frac{4K + K'}{5K + K'}$ donne des valeurs un peu plus grandes que celles qu'aurait z_3, si la flexibilité était partout la même. Si $K' = K$, $\frac{4K + K'}{5K + K'} = \frac{5}{6}$. Si $K' = 2K$, $\frac{4K + K'}{5K + K'} = \frac{6}{7}$, le rapport se rapproche de l'unité.

Le second terme de z_3 est fonction des flexibilités, et

son coefficient prend des valeurs d'autant plus grandes que K′ est plus grand par rapport à K. Il en est de même de l'amplitude du déplacement total z_3. A la limite, les ressorts d'avant oscillent comme si les ressorts et l'essieu d'arrière n'existaient pas.

Par exemple, un type très répandu de locomotive à voyageurs, c'est la machine à quatre essieux, dont deux moteurs et deux porteurs, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Ordinairement la flexibilité des ressorts des trois premiers essieux est à peu près la même, mais les ressorts de l'essieu d'arrière ont une flexibilité jusqu'à sept fois plus grande. Le poids suspendu est aussi moins grand. Dans ce cas, les oscillations de l'avant sont sensiblement les mêmes que si l'essieu d'arrière n'existait pas.

XII. — **Cas d'une machine à quatre essieux.**

En faisant les mêmes hypothèses qu'au début du paragraphe précédent et en supposant pour tous les ressorts même flexibilité et même poids suspendu, les équations du mouvement dans une machine à quatre essieux sont les suivantes :

$$\left\{\begin{array}{l} \frac{P}{g}\frac{d^2 z_1}{dt^2} = 0_1 - \pi_1, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2 z_2}{dt^2} = 0_2 - \pi_2, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2 z_3}{dt^2} = 0_3 - \pi_3, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2 z_4}{dt^2} = 0_4 - \pi_4, \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} z_1 - \varepsilon_1 = -K0_1, \\ z_2 - \varepsilon_2 = -K0_2, \\ z_3 - \varepsilon_3 = -K0_3, \\ z_4 - \varepsilon_4 = -K0_4, \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 0, \\ z_1 - z_2 = z_2 - z_3 = z_3 - z_4, \\ \\ (\pi_4 - \pi_4) l_1 + (\pi_2 - \pi_3) l_2 = 0. \end{array}\right.$$

Les quantités l_1, l_2 sont les distances des essieux au centre de gravité.

Ce système se résout facilement en ajoutant les quatre premières équations, ce qui donne la variable auxi-

liaire $u = z_1 + z_2 + z_3 + z_4$ en fonction de laquelle on peut calculer les inconnues.

Posant alors $\varepsilon_1 = -\eta + \lambda t$, il vient pour le déplacement primaire z_1 :

$$z_1 = \frac{7}{10}\left[-\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin mt + \eta\cos mt\right].$$

Lorsque la machine n'a que trois essieux, le coefficient du terme entre parenthèses est $\frac{5}{6}$.

Par suite, le rapport des oscillations primaires des ressorts d'avant pour une machine à quatre essieux et pour une machine à trois essieux, toutes les données restant les mêmes, est : $\frac{\frac{7}{10}}{\frac{5}{6}} = \frac{42}{50}$.

Ainsi, dans une machine à quatre essieux, les oscillations d'avant, données par l'équation primaire, sont un cinquième moins fortes que dans une machine à trois essieux.

On pourrait étudier complètement les oscillations totales et voir que cette conclusion subsiste. Mais cela nous conduirait trop loin.

XIII. — **Cas d'une machine à bogie.**

Considérons maintenant une machine ayant deux essieux moteurs à l'arrière et un bogie à l'avant, telle que le pivot du bogie et l'essieu d'arrière sont à la même distance de l'essieu central.

Conservons pour les deux essieux d'arrière les mêmes notations que plus haut. Soit, en outre, Q le poids appuyant sur le bogie ; z_0, le déplacement vertical du pivot du bogie ; ζ_1, ζ_2, les déplacements des ressorts de l'essieu

d'avant et de l'essieu d'arrière du bogie ; χ_1, χ_2, les variations du poids porté par ces ressorts ; et θ'_1, θ'_2, les variations de leurs tensions.

On a deux systèmes d'équations pour l'ensemble de la machine et pour le bogie.

1° Pour l'ensemble de la machine :

$$\left\{\begin{array}{l}\frac{P}{g}\frac{d^2z_3}{dt^2} = \theta_3 - \pi_3,\\ \frac{P}{g}\frac{d^2z_4}{dt^2} = \theta_4 - \pi_4,\\ \frac{Q}{g}\frac{d^2z_0}{dt^2} = (\theta'_1+\theta'_2) - (\chi_1+\chi_2),\end{array}\right. \quad \left\{\begin{array}{l} z_3 - \varepsilon_3 = -K\theta_3,\\ z_4 - \varepsilon_4 = -K\theta_4,\end{array}\right. \quad \left\{\begin{array}{l}\pi_3+\pi_4+\chi_1+\chi_2 = 0,\\ z_0 - z_3 = z_3 - z_4,\\ \pi_4 - (\chi_1+\chi_2) = 0;\end{array}\right.$$

2° Pour le bogie :

$$\left\{\begin{array}{l}\frac{Q}{2g}\frac{d^2\zeta_1}{dt^2} = \theta'_1 - \chi_1,\\ \frac{2g}{Q}\frac{d^2\zeta_1}{dt^2} = \theta'_2 - \chi_2,\end{array}\right. \quad \left\{\begin{array}{l}\zeta_1 - \varepsilon_1 = -K'\theta'_1,\\ \zeta_2 - \varepsilon_2 = -K'\theta'_2,\end{array}\right. \quad \left\{\begin{array}{l}\\ \chi_1 - \chi_2 = 0.\end{array}\right.$$

Ces deux systèmes d'équations peuvent se réduire à un seul système, qui est le suivant :

$$\begin{array}{llll}
(1) & \frac{P}{g}\frac{d^2z_3}{dt_2} = \theta_3 - \pi_3, & z_3 - \varepsilon_3 = -K\theta_3, & (5)\quad \pi_3+\pi_4+\chi_1+\chi_2 = 0,\\
(2) & \frac{P}{g}\frac{d^2z_4}{dt^2} = \theta_4 - \pi_4, & z_4 - \varepsilon_4 = -K\theta_4, & (6)\quad \frac{\zeta_1+\zeta_2}{2} - z_3 = z_3 - z_4,\\
(3) & \frac{Q}{3g}\frac{d^2\zeta_1}{dt^2} = \theta'_1 - \chi_1, & \zeta_1 - \varepsilon_1 = -K'\theta'_1, & (7)\quad \pi_4 - (\chi_1+\chi_2) = 0,\\
(4) & \frac{Q}{2g}\frac{d^2\zeta_2}{dt^2} = \theta'_2 - \chi_2, & \zeta_2 - \varepsilon_2 = -K'\theta'_2, & (8)\quad \chi_1 - \chi_2 = 0.
\end{array}$$

Le système d'équations (3), (4) et (8) me permet de trouver l'inconnue auxiliaire $\zeta_0 = \zeta_1 - \zeta_2$.

Le système (1), (2) et (5) me donne l'inconnue auxiliaire $z' = z_3 + 2z_4$.

Si je prends, enfin, comme autre inconnue auxiliaire, $\zeta' = \zeta_1 + \zeta_2$, la somme de (3) et (4) en tenant compte de

(2) et (7) donne :

$$(9) \qquad \frac{Q}{2g}\frac{d^2\zeta'}{dt^2} + \frac{\zeta'}{K'} - \frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{K'} = \frac{P}{g}\frac{d^2z_4}{dt^2} + \frac{z_4}{K} - \frac{\varepsilon_4}{K}.$$

Or, j'ai d'après (6) :

$$\zeta_1 + \zeta_2 = \zeta' = 4z' - 10z_4,$$

d'où :

$$z_4 = \frac{2z'}{5} - \frac{\zeta'}{10}.$$

Je puis donc, dans l'équation (9), exprimer ζ' en fonction des données et de l'inconnue auxiliaire z' déjà trouvée.

J'obtiens finalement la relation suivante :

$$\frac{d^2\zeta'}{dt^2}\left(\frac{Q}{2g} + \frac{P}{10g}\right) + \zeta'\left(\frac{1}{K'} + \frac{1}{10K}\right) = \frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{K'} + \frac{2\varepsilon_3 - \varepsilon_4}{5K},$$

de laquelle je déduis ζ' et toutes les autres inconnues.

On voit que le problème peut être résolu complètement dans le cas le plus général, flexibilité et poids suspendus différents.

La quantité m_1, qui donne la période d'oscillation propre, a pour valeur :

$$m_1 = \sqrt{\frac{g}{\frac{Q}{2} + \frac{P}{10}\left(\frac{1}{K'} + \frac{1}{10K}\right)}}.$$

Le déplacement $z_0 = \frac{\zeta_1+\zeta_2}{2}$ du pivot du bogie est une fonction trigonométrique de l'arc $m_1 t$ et a pour période $\frac{2\pi}{m_1}$.

On sait que le maximum de ce déplacement correspond à la vitesse donnée par l'expression $V_1 = \frac{lm_1}{2\pi}$, l étant la longueur des rails.

Exemple numérique. — Les valeurs des données sont généralement les suivantes : charge d'une roue de bogie, 3.000 kilogrammes ; charge d'une roue motrice, 6.000 kilogrammes ; $K = 0{,}006$; $K' = 0{,}01$.

On en déduit : $m_1 = 17{,}822$, et : $\frac{m_1}{2\pi} = 2{,}8363$.

La vitesse critique est donc : $V_1 = l.\ 2{,}8363$.

Pour des rails de 6 mètres, elle est égale à $61^{km},264$ à l'heure, et pour des rails de 8 mètres, à $81^{km},684$.

Supposons maintenant, pour simplifier, qu'on ait : $\frac{Q}{2} = P$, $K' = K$. Pour une dénivellation $\varepsilon_1 = -\eta + \lambda t$, le déplacement z_0 du pivot du bogie a pour expression :

$$z_0 = \frac{\zeta_1+\zeta_2}{2} = \frac{5}{11}\left(-\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin mt + \eta\cos mt\right).$$

En comparant cette valeur avec celles qui ont été obtenues pour les machines à trois et à quatre essieux, on arrive aux conclusions suivantes :

Dans les conditions de poids et de flexibilité des ressorts supposées plus haut, les oscillations primaires du pivot du bogie et :

1° Des ressorts d'avant d'une machine à trois essieux sont dans le rapport $\frac{\frac{5}{11}}{\frac{5}{6}} = \frac{6}{11}$;

2° Des ressorts d'avant d'une machine à quatre essieux : $\frac{\frac{5}{11}}{\frac{7}{10}} = \frac{50}{77}$, soit environ $\frac{5}{8}$;

3° Du point situé au milieu des deux essieux d'avant

d'une machine à quatre essieux ordinaires $\frac{\frac{5}{11}}{\frac{11}{20}} = \frac{100}{121}$, soit environ $\frac{5}{6}$.

Si, au lieu de faire l'hypothèse $\frac{Q}{2} = P$, ce qui revient à dire que chaque roue du bogie a la même charge que les roues motrices, on pose $Q = P$, d'où il résulte que la charge du bogie est la même que celle d'un essieu moteur (la vérité est comprise entre ces deux limites, et le dernier cas serait celui où on substituerait un bogie à l'essieu porteur d'avant d'une machine à trois essieux), l'expression du déplacement z_0 serait la suivante :

$$z_0 = \frac{18}{55}\left(-\eta + \lambda t - \frac{\lambda}{m}\sin m_1 t + \eta \cos m_1 t\right),$$

et il est, avec le déplacement des ressorts d'avant de la machine à trois essieux, qui lui est identique sous tous les rapports, sauf en ce qui concerne l'essieu porteur, dans le rapport :

$$\frac{\frac{18}{55}}{\frac{5}{6}} = \frac{108}{275}, \text{ soit un peu moins de } \frac{2}{5}.$$

Il en résulte qu'il y a un très grand avantage, dans une machine à deux essieux accouplés placés à l'arrière, à avoir un bogie à l'avant au lieu d'un essieu porteur.

En résumé, le bogie a pour effet d'atténuer considérablement les oscillations du bâti d'une locomotive. C'est en cela que consiste, pour une bonne part, sa très réelle supériorité.

Les principales conclusions qui se dégagent de l'étude ci-dessus sont les suivantes ;

Les oscillations du bâti d'une locomotive sur les ressorts dépendent de la vitesse de marche et passent par un maximum pour certaines vitesses qui, souvent, sont précisément les vitesses usuelles des trains de voyageurs ;

Les oscillations du bâti font varier considérablement, non pas tant la charge s'appuyant sur les ressorts, mais les tensions de ceux-ci, c'est-à-dire finalement la pression exercée par les roues sur la voie. Cette pression peut, dans certains cas, se trouver réduite au simple poids de la roue. L'ensemble des rails et des traverses peut alors être ripé par l'effet du mouvement de lacet, et, si, dans ce dernier mouvement, le mentonnet vient exercer contre le rail une réaction latérale qui, multipliée par le coefficient de frottement, donne un produit supérieur à la pression verticale de la roue sur le rail, cette roue peut monter sur le rail et dérailler sans autre cause. On conçoit, d'ailleurs, que cette coïncidence de la décharge d'une roue avec le maximum d'adhérence du boudin au rail ne doive se produire que tout à fait accidentellement. Nous discuterons ces questions dans la deuxième partie de notre mémoire.

La stabilité d'une machine dépend d'un certain nombre d'éléments dont le rôle a été interprété dans l'étude qui précède. On peut aisément comparer les divers types de locomotives au point de vue de la stabilité, et on a les moyens de calculer les divers éléments constitutifs d'une machine, de façon que son maximum de stabilité corresponde à la vitesse de marche moyenne qui lui est assignée.

Bourges, novembre 1895.

(*La suite à une autre livraison.*)

CONCLUSIONS

DE LA PREMIÈRE SECTION

DE LA

COMMISSION DES MÉTHODES D'ESSAI

DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

La Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction a été instituée par décret du 9 novembre 1891, avec la mission de formuler les règles uniformes à adopter dans l'essai des matériaux de construction et de déterminer les unités à prendre comme termes de comparaison. Cette Commission a été divisée en deux Sections, l'une chargée des études relatives aux métaux, l'autre de celles qui concernent les matériaux de construction autres que les métaux, tels que les matières d'agrégation des maçonneries.

Ces deux Sections ont publié d'importants mémoires, ainsi que des rapports généraux. Leurs propositions ont été acceptées par un grand nombre d'administrations et d'industries, et les prescriptions de la Commission figurent aujourd'hui dans beaucoup de cahiers de charges. Les conclusions de la première section, qui a étudié les essais de métaux, sont particulièrement intéressantes pour les lecteurs des *Annales*. Elles sont extraites du rapport général présenté par MM. Baclé et Debray. Elles ont été adoptées par la Commission dans la séance plénière du 12 mai 1893.

CONCLUSIONS.

Les conclusions auxquelles la Section s'est arrêtée, et dont les motifs sont développés dans son rapport, sont reproduites ci-après.

Dans la rédaction de ces conclusions, la Section a tenu à se renfermer dans le seul examen des méthodes d'essai, qui constitue bien le programme des travaux de la Commission, et elle a évité soigneusement d'émettre aucun avis sur les conditions mêmes à imposer, de manière à laisser à cet égard toute liberté aux producteurs et consommateurs. Dans le même ordre d'idées, la Section a pensé que, tout en étudiant les diverses méthodes d'essai, la Commission n'avait pas non plus à se prononcer sur la préférence à accorder à aucune de ces méthodes pour une application déterminée.

Ainsi qu'il a été indiqué dans le rapport de la Section, une certaine partie des prescriptions adoptées se justifient par des motifs techniques; pour d'autres, au contraire, les motifs techniques faisaient défaut, et on s'est efforcé de se conformer aux habitudes les plus généralement admises. Ces décisions pourraient se trouver modifiées dans l'avenir, s'il se produisait une raison suffisante d'adopter des dispositions différentes.

PREMIÈRE PARTIE.

ESSAIS PHYSIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

EXAMEN PHYSIQUE.

Observation, sans appareils spéciaux, de l'aspect extérieur et des cassures.

1° L'observation de l'aspect extérieur des pièces avant tout essai peut, quand elle est faite par un praticien exercé, donner une appréciation éclairée de la qualité des métaux et alliages; elle ne doit pas être négligée. Elle ne comporte pas de règles d'unification.

2° Les cassures d'éprouvettes rompues à la traction seront distinguées d'après la classification suivante, qui paraît applicable à la plupart des métaux coulés et forgés :

A. — Cassure en forme de coupelle, à lèvres lisses et brillantes, à contours très nets, fond gris terne.

B. — Mêmes formes générales que A, mais un peu embrouillées.

C. — Cassure plane, normale à l'axe. Un anneau de grains brillants entoure une partie grise et terne.

D. — Cassure rappelant celle du bois pourri, caractérisée généralement par des lignes parallèles à l'axe longitudinal de la pièce appelées « travers ».

F. — Cassure en sifflet, surface oblique, lisse et brillante.

G. — Cassure formée par plusieurs sifflets séparés par des parties brillantes, « pailles » ou « soufflures ». Ces parties, comme les « travers » de la cassure D, sont toujours parallèles à l'axe longitudinal de la pièce.

G'. — Cassure analogue à G, mais avec un plus grand nombre de défauts.

H. — Cassure plane, normale à l'axe, à grains brillants traversés par une paille ; HN, quand la paille est noire.

I. — Cassure plane, normale à l'axe, à grains fins.

K. — Cassure plane, normale à l'axe, à gros grains brillants.

3° Les fontes seront distinguées, en outre, d'après les caractères organoleptiques suivants : fonte grise, blanche ou truitée ; on vérifiera, d'autre part, si la fonte est facile à limer, buriner, tarauder ou tourner ; on notera le nombre de fusions, et, s'il y a lieu, les procédés de fusion.

4° Pour les laitons, on distinguera l'aspect final du barreau après tirage, d'après la classification suivante :

α. — Aspect sensiblement le même qu'avant l'essai de traction.

β. — Granulation à peine apparente.

γ. — Granulation sensible.

δ. — Surface très moutonnée.

La Commission estime qu'il serait intéressant d'étudier si cette classification ou une classification analogue pourrait être adoptée pour les autres métaux ductiles et, en particulier, pour les aciers.

Observations pratiquées avec des appareils de précision.

La Commission croit devoir signaler spécialement, pour l'examen des cassures et de sections polies ayant subi, s'il y a lieu, l'attaque aux acides, les procédés de la métallographie microscopique, qui donnent déjà des résultats intéressants et paraissent susceptibles de recevoir, dans l'avenir, des applications importantes.

Essais de résonnance.

La Commission est d'avis qu'il y a lieu de poursuivre les recherches et expériences entreprises en vue d'apprécier les défauts internes des pièces par des essais de résonnance.

CHAPITRE II.

DÉTERMINATION DE CERTAINES CONSTANTES PHYSIQUES.

Détermination de la densité.

a. *Éprouvettes.*

1° L'échantillon employé affectera, autant que possible, une forme géométrique simple : cube, parallélipipède, cylindre, etc. Dans tous les cas, on évitera absolument de lui donner des faces rentrantes.

2° Il aura un poids minimum de 30 grammes, le maximum étant limité par la force de la balance hydrostatique dont on dispose.

3° Les faces seront toujours parfaitement dressées et polies, sans taches d'oxydes ou de corps gras.

4° On laissera séjourner pendant quelques heures, dans la salle de la balance, l'échantillon et le vase contenant l'eau.

5° Pour faire la pesée de l'eau, on suspendra l'échantillon au moyen d'un fil de cuivre fin.

6° On tiendra compte de la perte de poids du fil dans l'eau.

7° Il ne sera généralement utile de faire la correction due à l'influence de la température de l'eau qu'autant qu'elle dépassera 10 degrés centigrades.

8° On exécutera les mesures sur cinq échantillons, et on prendra la moyenne des résultats obtenus.

b. *Pièces finies.*

1° On ne déterminera le volume de la pièce en opérant sur la pièce elle-même qu'autant que la pièce ne présentera pas une surface rugueuse ni des soufflures apparentes.

2° Dans le cas contraire, on déterminera le volume de la pièce en se servant soit du modèle, et tenant compte du retrait, si cela paraît nécessaire, soit d'une pièce de formes identiques.

3° On emploiera, autant que possible, pour suspendre la pièce, un fil de fer ou de cuivre assez fin et plongeant assez peu pour qu'il n'y ait pas lieu de faire la correction y relative.

4° Il ne sera généralement utile de faire les corrections relatives à la température de l'eau qu'autant qu'elle dépassera 10 degrés centigrades.

Expériences de la conductibilité thermique.

La Commission estime qu'il y aurait intérêt à poursuivre les

recherches entreprises pour établir la relation qui peut exister entre la structure des métaux et la conductibilité thermique qu'ils présentent dans les diverses directions.

Détermination de la conductibilité électrique.

Les méthodes d'essai de la conductibilité électrique ayant fait l'objet des décisions d'un Congrès spécial, la Commission n'a aucune recommandation particulière à ajouter à ce sujet.

Elle rappelle seulement qu'il est important d'observer ces décisions.

CHAPITRE III.

ÉTUDE PHYSIQUE DES VARIATIONS D'ÉTAT DES MÉTAUX SOUS L'INFLUENCE DES CHANGEMENTS DE TEMPÉRATURE.

Détermination des températures critiques par la méthode du refroidissement.

La Commission estime qu'il y a lieu de s'attacher à la détermination des températures critiques par la méthode du refroidissement, car cette détermination constitue, pour certains métaux, un essai de grand intérêt, susceptible de recevoir des applications importantes dans l'avenir.

Variations de la conductibilité électrique.

Les essais de conductibilité électrique pratiqués sur un même métal à différentes températures complètent les études opérées par la méthode du refroidissement; ils servent à préciser les variations d'état du métal, et notamment la position des points critiques.

CHAPITRE IV.

ÉTUDE DE LA TREMPE.

1° La Commission estime qu'il y a intérêt à poursuivre les études entreprises pour apprécier l'influence des divers facteurs qui interviennent dans l'opération de la trempe en tenant compte de la nuance de dureté des aciers expérimentés.

2° En ce qui concerne spécialement les aciers doux, les barreaux destinés à être soumis à des essais mécaniques après trempe seront chauffés uniformément, de manière à être amenés au rouge cerise un peu sombre (700 degrés environ); ils seront ensuite trempés dans un volume d'eau à 28 degrés, très grand par rapport au volume des barreaux.

DEUXIÈME PARTIE.

ESSAIS CHIMIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

ANALYSE DES MÉTAUX ET ALLIAGES.

1° L'analyse chimique, pratiquée sur échantillons convenablement choisis, apporte des renseignements très intéressants, même au point de vue de l'appréciation des propriétés mécaniques de divers métaux et alliages. Il conviendrait, pour obtenir des résultats comparables, d'effectuer cette analyse d'après des règles uniformes. L'étude de cette question est réservée pour une session ultérieure.

Provisoirement, il sera bon, pour permettre d'apprécier la valeur des résultats obtenus, de rappeler toujours la méthode employée.

2° Pour les cuivres et leurs alliages, il y a lieu de signaler spécialement la méthode électrolytique, à cause de sa facilité d'emploi.

CHAPITRE II.

ESSAIS DE CORROSION ET D'ADHÉRENCE DES REVÊTEMENTS PROTECTEURS.

1° La Commission estime qu'il serait intéressant de faire des expériences sur la résistance que les métaux présentent à l'action de corrosion des agents atmosphériques, gaz, vapeurs, liquides, avec lesquels ils peuvent se trouver en contact.

2° Dans les essais de fils, l'adhérence des revêtements protecteurs sera constatée par une épreuve d'enroulement et de déroulement qui sera exécutée dans les conditions spécifiées plus loin pour l'épreuve mécanique.

3° (*a*) Pour apprécier l'épaisseur de la couche de métal protecteur, notamment du zinc sur les fils galvanisés, on opérera au moyen d'immersions successives d'une minute chacune, dans une dissolution

de : une partie de sulfate de cuivre pur cristallisé dans cinq parties d'eau distillée.

(*b*) Le fil sera, avant la première immersion, dégraissé par lavage dans une dissolution faible de potasse; entre chaque immersion, il sera essuyé avec un chiffon doux, sec et propre.

TROISIÈME PARTIE

ESSAIS MÉCANIQUES.
RECOMMANDATIONS COMMUNES A TOUTES LES MÉTHODES D'ESSAI.

CHAPITRE PREMIER.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

1° Il faut observer que les renseignements fournis par les essais mécaniques, surtout sur éprouvettes détachées des produits de qualité ordinaire, ne constituent souvent que des indications approximatives pouvant comporter des écarts sensibles sur une même pièce. Ces écarts sont plus ou moins grands suivant la nature des pièces éprouvées et les soins apportés à leur exécution.

2° Pour obtenir une appréciation plus complète de la qualité du métal, il convient fréquemment d'accompagner l'épreuve mécanique spéciale, de quelque nature qu'elle soit, d'un essai de traction.

3° Il ne faut pas abuser toutefois des essais de traction, qui exigent un travail souvent assez long pour le découpage et le façonnage des éprouvettes. Si ces essais sont fort utiles pour la réception des matériaux de choix, ils sont quelquefois appliqués sans grande utilité à certains produits courants, qui, justement, présentent les écarts les plus considérables d'une éprouvette à l'autre. On peut recommander, dans ce cas, de n'user qu'avec modération des essais de traction, surtout lorsque des procédés plus simples et plus expéditifs, tels que le pliage et l'essai au choc, permettent d'apprécier suffisamment la qualité du métal.

4° Il convient que les résultats des essais mécaniques ne soient pas donnés avec une précision apparente supérieure à celle des observations.

5° Pour la plupart des essais courants, il peut suffire d'une approximation à 1 ou 2 p. 100 près dans les résultats.

6° Il convient de ne pas hésiter à faire usage des appareils enregistreurs des efforts et déformations qui sont commodes et préviennent

les erreurs graves, même quand ils ne seraient pas d'une précision extrême.

7° On devra éliminer, dans le calcul des moyennes établies à un point de vue scientifique, les éprouvettes présentant exceptionnellement des défauts localisés dans l'éprouvette même.

CHAPITRE II.

PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES.

État du métal.

1° On devra toujours indiquer si le métal à apprécier a été laissé à l'état naturel ou s'il a été trempé, recuit ou écroui, etc.

Pour les métaux mous surtout, il est indispensable de prendre note de l'état d'écrouissage.

2° Dès que le métal aura été amené à l'état où on veut l'apprécier, on devra éviter, dans le prélèvement et le façonnage de l'éprouvette, toute opération qui pourrait en altérer la nature et fausser les résultats des essais.

3° Lorsqu'on peut apprécier la qualité du métal employé pour la fabrication d'une pièce, il faut prélever, avant toute élaboration, la prise qui doit donner le barreau d'essai ou, dans le cas d'impossibilité, détruire l'influence de cette élaboration sur la pièce par un recuit donné dans des conditions convenablement déterminées.

Si on se borne à faire recuire l'éprouvette elle-même, après qu'elle est détachée de la pièce finie, on peut obtenir des résultats différents, notamment aux essais de traction, et surtout avec les métaux mous.

4° Lorsqu'on veut apprécier seulement l'état du métal de la pièce finie, il convient d'opérer sur des éprouvettes qui soient, autant que possible, dans le même état d'écrouissage que la pièce à éprouver.

5° En général, l'éprouvette prise sur le produit fourni est celle qui intéresse le plus le consommateur ; toutefois, en certains cas, il peut être utile d'en prélever au cours de la fabrication.

6° En ce qui concerne le cuivre et ses divers alliages en planches, pour avoir des résultats comparables, il convient de les essayer après le dernier recuit de la fabrication des planches.

7° Certaines pièces en cuivre (barres d'entretoises, plaques de foyer, etc.) étant préparées par écrouissage, il faut s'attacher en ce cas, dans le découpage des éprouvettes, à ne pas les modifier, si on veut apprécier le métal dans cet état.

Emplacement et prélèvement des prises d'essai.

1° D'une manière générale, on prélèvera les prises d'essai dans la région de la pièce où la qualité qu'on veut vérifier a le plus d'importance en service, et surtout dans celle où elle est probablement le moins développée.

2° Le prélèvement des prises devra être opéré, autant que possible, dans les conditions suivantes :

(*a*) Dans les pièces forgées, au milieu des parties les plus massives.

S'il y a un sens d'étirage à la forge, les barreaux d'essai seront le plus souvent orientés suivant la direction de cet étirage. Il peut être utile de découper des barreaux perpendiculaires à cette direction, mais les conditions ordinaires admises pour les éprouvettes prises en long ne peuvent pas s'appliquer sans atténuation aux éprouvettes en travers.

(*b*) Dans les produits laminés, on prélèvera des prises aux deux bouts.

(*c*) Dans les laminés à section compliquée, on prélèvera ces prises dans les parties les plus massives et les plus minces.

(*d*) Dans les tôles, et particulièrement dans les tôles de fer, on prélèvera des prises en long et en travers, soit dans les chutes, soit dans les découpures intérieures.

(*e*) Avec les métaux ayant subi la fusion, soit qu'ils restent à l'état de pièces moulées, soit que les lingots doivent être ultérieurement travaillés, on peut admettre que, pour les produits communs, une prise d'essai au milieu de la coulée peut suffire à définir la coulée entière ; mais, pour les produits fins, pour les grandes coulées, et lorsque le procédé de fabrication risque de modifier le métal pendant la coulée même, on fera des prises d'essai au début, au milieu et à la fin de l'opération.

(*f*) Pour les moulages, on prendra soit une éprouvette adhérente à chaque pièce importante, immédiatement dans le pied de la masselotte, soit une éprouvette séparée pour chaque lot un peu considérable de petites pièces d'une même coulée.

Si l'on veut vérifier plus rigoureusement la qualité des moulages, il faudra de temps en temps sacrifier une pièce pour en essayer les parties les plus minces et les plus massives.

Ces prises multipliées sont surtout utiles pour les produits en bronze, et particulièrement les bronzes spéciaux ; il convient alors de contrôler par des essais les diverses étapes de la fabrication, et de faire porter les épreuves sur un certain nombre de pièces finies prélevées à des périodes différentes d'une même coulée.

(*g*) Pour les pièces de fonte et d'acier moulé ayant, en quelque partie, plus de 8 centimètres d'épaisseur, les barreaux d'essai seront prélevés dans le pied de la masselotte.

(*h*) Pour les pièces de fonte et d'acier moulé d'une épaisseur inférieure à 8 centimètres les barreaux d'essai pourront être coulés en châssis séparés ou venir de fonte avec les pièces.

(*i*) Lorsque les barreaux d'essai seront coulés à part, on observera les précautions suivantes :

L'inclinaison du moule sera fixée à 20 centimètres environ par mètre, et on donnera à la masselotte une longueur de 15 à 20 centimètres.

Il n'y aura pas de masselotte spéciale pour les barreaux coulés attenant aux pièces.

Confection des barreaux d'essai.

1° Pour les tôles et larges plats, les bandes dans lesquelles seront découpés les barreaux devront avoir une largeur supérieure à celle de ces barreaux d'une quantité égale à deux fois leur épaisseur.

2° Ces bandes pourront être détachées à la cisaille, au poinçon, à la tranche ou à la machine-outil, etc.

3° Si l'on détache la bande à la cisaille, il faut éviter qu'elle ait à subir aucune déformation dans les découpages successifs ; on la maintiendra au besoin serrée à la presse pendant ces opérations.

4° Si, malgré ces précautions, la bande est déformée, on la redressera à froid, lorsque la déformation aura été faible. Pour les bandes de fer et d'acier, le redressage pourra être opéré à chaud, pourvu que la température ne dépasse pas celle du rouge sombre (700° environ), en prenant les précautions nécessaires, notamment en employant des maillets en bois.

5° Les éprouvettes seront détachées des bandes à froid et uniquement à la machine-outil.

6° Dans la généralité des cas, il suffira de travailler les champs pour amener les éprouvettes rectangulaires à leur forme définitive.

Les éprouvettes seront travaillées sur toutes leurs faces, quand la section sera trop forte pour la machine d'essai, ou encore si l'inégalité d'épaisseur peut faire craindre des déformations par flexion.

7° On aura soin d'enlever sur la bande la zone qui a pu être altérée par l'action de l'outil employé, cisaille, tranche ou poinçon.

8° Cet enlèvement doit se faire à la scie, à la raboteuse, au tour, à la meule, à l'alésoir ou à la fraise, ou même, dans les dernières passes, à la lime. Il convient, d'ailleurs, de diminuer l'épaisseur du métal enlevée dans les dernières passes, et de s'attacher, surtout pour les éprouvettes de traction, à ce que l'outil ne s'arrête pas à l'intérieur de la longueur utile, ce point d'arrêt pouvant devenir une amorce de rupture.

Il est bon également d'adoucir à la lime les arêtes vives.

9° Avec les métaux mous, comme les cuivres et les laitons, les éprouvettes seront, autant que possible, entièrement faites à la lime ; si on les ébauche à la fraise, il faudra laisser toujours au moins 0mm,5 à prendre à la lime.

10° Pour les métaux coulés, les barreaux d'essai, coulés à part ou détachés des pièces, seront façonnés à la machine-outil, tournés ou dressés ; les surfaces et les arêtes de la partie utile seront adoucies à la lime.

Sur les barreaux bruts, on ménagera dans toute l'étendue de la longueur utile, comme matière à enlever, un excédent d'épaisseur de $2^{mm},5$.

CHAPITRE III.

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES RÉSULTATS DES ESSAIS.

Essais pratiqués à des températures déterminées.

Influence des températures supérieures à 100 degrés.

1° Les précautions à prendre pour les essais à des températures déterminées supérieures à 100 degrés sont les suivantes :

(*a*) Les métaux doivent, au préalable, être recuits à une température supérieure à la plus élevée de celles qu'ils auront à supporter au cours des essais,

L'indication des conditions dans lesquelles a été fait ce recuit doit être jointe aux résultats des essais ;

(*b*) L'évaluation de la température du barreau d'essai doit être faite avec le plus grand soin.

Quand le chauffage est fait par l'intermédiaire d'un liquide, on peut, à la rigueur, se contenter de mesurer la température de ce liquide; mais il est toujours préférable de prendre directement celle du barreau au moyen d'un couple thermo-électrique.

Dans le cas où on chauffe le barreau moyen d'un courant d'air chaud, le couple thermo-électrique permet seul d'obtenir exactement sa température ;

(*c*) La partie du barreau renfermée dans l'appareil de chauffage doit avoir une longueur double de la longueur utile servant aux mesures d'allongements; on aura soin de placer cette longueur utile dans la partie médiane de l'appareil de chauffage ;

(*d*) La durée de chaque essai doit être notée avec soin ; l'influence de cette durée pouvant être considérable à certaines températures, il convient de faire à une même température des essais de durées différentes, en particulier des essais de longue durée qui semblent devoir donner les renseignements les plus utiles au point de vue pratique.

2° La Commission émet le vœu que des essais à des températures élevées, dont les résultats peuvent, dans certaines circonstances, présenter un sérieux intérêt, soient pratiqués, en aussi grand nombre que possible, sur tous les métaux et alliages susceptibles d'être portés à des températures supérieures à 100 degrés, et en particulier sur les bronzes, dont les propriétés à chaud paraissent très variables avec la composition.

Influence des températures inférieures à 100 degrés.

1° Les précautions à prendre pour des essais à des températures déterminées inférieures à 100 degrés sont les suivantes :

(*a*) L'évaluation de la température du barreau d'essai doit être faite avec le plus grand soin ;

(*b*) Le métal doit être amené à la température à laquelle on veut l'expérimenter, par l'immersion dans un liquide tel que l'alcool, l'eau ou l'huile :

(*c*) Entre 100 et 15 degrés, il est préférable d'employer l'huile, qui, dans le cas où l'essai sera fait en dehors du bain liquide (essais de choc ou de fragilité), fournira une couche protectrice empêchant le refroidissement du barreau, tandis que l'eau, par son évaporation, activerait ce refroidissement.

Au-dessous de 15 degrés, quand on ne dispose pas de machines frigorifiques, les mélanges réfrigérants dont l'emploi est le plus commode sont :

Jusqu'à 0 degré, l'eau refroidie à la glace ;

De 0 à — 18 degrés, le mélange de glace et de sel ;

De 0 à — 45 degrés, le mélange de glace et de chlorure de calcium cristallisé ;

De 0 à — 70 degrés, l'alcool refroidi avec de l'acide carbonique solide.

2° Les essais de choc et de fragilité doivent être exécutés en un seul coup de mouton, si possible; sinon, il convient de ramener le barreau à la température d'essai à chaque coup ou de deux en deux coups.

3° La Commission émet le vœu que les variations de la fragilité avec la température, qui sont encore peu connues, soient l'objet d'une étude complète portant sur des métaux recuits et trempés de diverses manières, et aussi sur des alliages différant entre eux par la composition chimique.

Essais courants pratiqués aux températures ordinaires.

1° Les essais de traction devront se faire, autant que possible, à des températures comprises entre 10 et 30 degrés. Dans ces limites, il n'y a pas lieu de se préoccuper, pour ces essais, de l'influence des variations de la température.

2° Cette influence doit, au contraire, être prise en considération dans les essais de flexion au choc.

3° Pour l'atténuer dans la mesure du possible, il y a lieu :

(*a*) De ramener tous les barreaux ou pièces soumis à ces essais à la température de 15 degrés environ;

(*b*) D'exécuter ces essais avec le nombre de coups de mouton le plus faible possible.

4° Il convient d'indiquer le nombre de coups de mouton et les données relatives à l'intensité du choc (hauteur de chute, poids du mouton).

Si le nombre des coups de mouton est supérieur à deux, il conviendra de ramener le barreau ou la pièce, autant que possible, de deux en deux coups, à une température voisine de 15 degrés ou de les refroidir continuellement au cours de l'essai au moyen d'un arrosage convenablement disposé. On indiquera si cette condition a pu être réalisée ou non.

CHAPITRE IV.

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA DURÉE SUR LES RÉSULTATS DES ESSAIS.

La Commission estime qu'il y a lieu de poursuivre l'étude de l'influence de la durée sur les résultats des essais.

CHAPITRE V.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES APPAREILS D'ESSAI.

Appareils opérant par action graduée.

Machines à essayer par traction.

1° Dans l'état actuel de l'art de la construction, il paraît utile que les machines à essayer les métaux à la traction aient un organe de traction et un organe de mesure indépendants.

2° Le choix du type est essentiellement subordonné aux conditions d'emploi. En conséquence, toutes les combinaisons mécaniques sont acceptables, pourvu qu'elles soient bien conçues et en rapport avec le but à atteindre.

3° Les machines de cette espèce sont soumises aux règles applicables à toute bonne construction mécanique soignée et spécialement à celle des appareils de pesage.

On doit, en particulier :

(*a*) Proportionner le rayon de l'arête des couteaux à l'effort qu'ils doivent supporter;

(*b*) Placer les couteaux sur les leviers et les chapes sur les bielles de connexion;

(*c*) Éviter les rapports de bras de leviers exagérés.

4° On doit recommander en outre :

(*a*) Que les organes de mesure soient aussi simples que possible;

(*b*) Que l'entretien et la vérification en soient faciles.

5° Les organes de traction doivent être combinés de façon à réaliser, dans les essais, les conditions de durée recommandées par la Commission.

6° Ils doivent également remplir la condition de produire des accroissements de charges progressifs et sans chocs.

7° Pour les essais de pratique courante, il suffit que les organes de mesure soient exacts à 1/250e près, pour le demi-effort maximum.

8° On doit vérifier les machines à essayer les métaux au moyen de poids marqués, directement appliqués à l'organe de mesure, toutes les fois que les dispositions des machines permettent de le faire.

Lorsque cela n'est pas possible, il y a lieu de recommander l'emploi d'un appareil analogue au dynamomètre de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée (système Lebasteur) ou remplissant le même but avec la même précision; on vérifiera les indications de ces appareils au moyen de poids marqués, aussi souvent qu'il sera reconnu nécessaire pour écarter toute incertitude.

Dans la construction des machines, on devra prévoir entre les attaches l'emplacement nécessaire pour atteler les appareils de vérification.

9° Il n'y a pas lieu de recommander un mode spécial pour l'attache des éprouvettes. Il suffit que les attaches employées soient disposées de façon que les éprouvettes soient soumises à la traction suivant leur axe et ne subissent aucune flexion ou torsion du fait des attaches.

Cette condition s'applique aux attaches de toutes sortes; celles qui agissent par pression transversale doivent, en outre, remplir la condition de ne pas laisser glisser les barreaux pendant la traction; le taillage et la forme des coins striés doivent être combinés en conséquence.

10° Il est très utile d'enregistrer les allongements élastiques au moyen d'appareils de précision combinés à cet effet; l'emploi de ces appareils facilite beaucoup la détermination de la période d'élasticité, sur laquelle tout autre moyen d'observation laisse toujours quelque incertitude. Ces appareils doivent être disposés de façon à enregistrer, autant que possible, l'allongement de la fibre moyenne.

11° En ce qui concerne les allongements permanents, on doit considérer les appareils enregistreurs comme des moyens commodes de contrôle des opérations de traction.

Il n'est pas nécessaire que les appareils enregistreurs des allongements permanents soient aussi précis que ceux employés pour relever es allongements élastiques; ils peuvent en être distincts sans aucun nconvénient, attendu que l'amplification des allongements élastiques est et doit être tout à fait différente de celle des allongements permanents.

Machines à essayer par compression.

1° Les machines à essayer les métaux par compression doivent être assujetties aux mêmes règles générales que les machines à essayer par traction.

D'ailleurs, les machines à essayer par traction peuvent souvent être employées aux essais par compression en les complétant par un appareil spécial de réversion des efforts.

2° Les machines à essayer par compression doivent satisfaire aux conditions spéciales suivantes :

(*a*) On devra prendre des dispositions pour que l'opérateur puisse, à volonté, faire coïncider l'axe neutre des objets soumis à la compression avec la direction de la résultante des efforts de compression exercés par la machine ;

(*b*) Pour que cette coïncidence puisse être maintenue pendant la compression, il peut être utile que l'un des plateaux entre lesquels il s'exerce, puisse s'orienter de lui-même ;

(*c*) Afin qu'elles ne s'écrasent pas sous les efforts exercés, les surfaces d'appui devront être plus dures que les objets soumis à l'expérience.

Machines à essayer par flexion, pliage, cintrage et courbage.

1° Les machines à essayer les métaux par flexion, pliage, cintrage et courbage, doivent être assujetties aux mêmes règles générales de construction que les machines à essayer par traction.

D'ailleurs, les machines à essayer par traction peuvent souvent être employées aux essais par flexion, en les complétant par un appareil convenablement disposé.

Ces machines doivent être combinées de façon à permettre d'exécuter les essais commodément et sans à-coup.

2° Il y a lieu de distinguer parmi les machines de cette espèce :

(*a*) Les machines à essayer les matériaux de petit échantillon, qui peuvent être classées en trois catégories :

α. Les appareils destinés à essayer les barreaux à flexion ;

β. Les machines à plier proprement dites ;

γ. Les machines à cintrer ou à courber.

Les appareils destinés à essayer le barreaux à la flexion doivent permettre d'évaluer l'effort de flexion développé ; cette condition peut être utile pour les autres machines de l'espèce ;

(*b*) Les machines à essayer les rails et autres grosses pièces. Ces machines doivent être robustes, agencées de façon à faciliter la manutention des objets relativement pesants auxquels elles s'appliquent.

Il est bon qu'elles soient munies d'un appareil enregistreur des flèches ;

(*c*) Les machines à essayer les ressorts. Ces machines doivent permettre de réaliser facilement et régulièrement l'essai par flexion et, en outre, l'essai par oscillations répétées ou par balancement.

Machines à essayer par torsion.

1° Les machines à essayer les métaux par torsion sont assujetties aux mêmes règles générales de construction que les machines à essayer par traction.

2° Ces machines doivent être agencées de manière à ce que l'axe de la pièce essayée ne subisse aucune flexion.

Il est utile, dans certains cas, qu'elles donnent le moyen de soumettre la pièce à un effort de torsion et à un effort de traction simultanés.

Appareils opérant par action brusque.

1° Le choc peut être produit de manières très différentes ; jusqu'ici, le procédé le plus couramment employé est celui du mouton, qui est commode dans la plupart des cas.

2° Le guidage du mouton doit être absolument rigide, plan et vertical ; il doit être disposé de telle sorte que le frottement, dans la chute, soit réduit au minimum.

3° Le mouton doit être de masse et de forme symétriques par rapport au plan du guidage.

4° Le centre de gravité du mouton doit être placé le plus bas possible dans le plan du guidage et sur la verticale équidistante des deux guides.

5° La hauteur de la partie guidée du mouton doit être notablement plus grande que l'intervalle entre les guides.

6° L'appareil à déclic ne doit produire aucun mouvement latéral du mouton, lors de sa mise en jeu.

7° La chabotte doit constituer, soit par elle seule, soit avec un massif de maçonnerie solidaire, une masse incompressible considérable par rapport à celle du mouton (s'il est possible, 15 fois à 20 fois la masse du mouton) ; ce rapport doit être d'autant plus élevé que la hauteur de chute est plus considérable.

CHAPITRE VI.

EXAMEN DES GRANDEURS A MESURER.

1° Dans un essai complet, il conviendra de relever les efforts et les déformations correspondant aux deux périodes caractéristiques qu'on retrouve dans tout essai opérant par action continue : déformations élastiques et déformations permanentes.

2° En ce qui concerne la période élastique, on distingue les trois limites suivantes :

(*a*) La *limite d'élasticité* au-dessus de laquelle les déformations cessent d'être momentanées (point E) ;

(*b*) La *limite d'élasticité proportionnelle*, ou *limite des déformations*

proportionnelles correspondant au point où les déformations cessent d'être proportionnelles aux efforts (point P);

(*c*) La *limite d'élasticité apparente*, où *origine des déformations sous charge constante* correspondant au point où les déformations prennent une valeur de plus en plus accentuée sans augmentation de l'effort exercé (point F).

3° Il est généralement admis que la limite d'élasticité proprement dite coïncide avec la limite d'élasticité proportionnelle, telle qu'elle vient d'être définie, c'est-à-dire que le point E coïncide avec le point P; toutefois, comme cette coïncidence est discutée, la Commission émet le vœu que des expériences soient faites pour élucider cette question.

4° En ce qui concerne la période des déformations permanentes, on distinguera la charge maximum supportée, les déformations correspondantes, la charge de rupture et les déformations correspondantes.

5° L'observation de ces diverses quantités ne peut pas, d'ailleurs, se faire dans la plupart des essais; on peut se borner le plus souvent à noter, dans l'essai de traction par exemple, la charge maximum supportée, l'allongement après rupture et la striction.

6° Les efforts seront exprimés en kilogrammes; les longueurs, en millimètres; et les sections, en millimètres carrés.

7° Pour les épreuves hydrauliques, les pressions seront exclusivement exprimées en kilogrammes par centimètre carré.

A moins de mention contraire, on considérera la pression effective, c'est-à-dire la différence entre les efforts antagonistes exercés sur les deux faces de la paroi sollicitée.

CHAPITRE VII.

TERMINOLOGIE MÉCANIQUE.

La Commission estime qu'il y aurait intérêt à fixer, dans une certaine mesure, la terminologie mécanique.

L'étude de cette question, commencée par un Sous-Comité spécial, est réservée pour une session ultérieure.

CHAPITRE VIII.

TERMINOLOGIE TECHNIQUE.

La Commission estime qu'il y aurait intérêt à fixer, dans une certaine mesure, la terminologie technique.

L'étude de cette question, commencée par un Sous-Comité spécial, est réservée pour une session ultérieure.

QUATRIÈME PARTIE.

ESSAIS MÉCANIQUES.
ÉTUDE DÉTAILLÉE DES DIVERSES MÉTHODES D'ESSAI.

PREMIÈRE CLASSE.

Méthodes d'épreuves opérant par action graduée.

Les essais doivent toujours être effectués d'une manière continue, aussi régulièrement progressive que possible.

CHAPITRE PREMIER.

ESSAIS DE TRACTION.

Limites de la période élastique.

1° Les trois limites de la période élastique seront définies avec les approximations suivantes :

(*a*) La *limite d'élasticité* sera la charge maximum, rapportée au millimètre carré de la section primitive, correspondant au point E de l'échelle des efforts de traction, qui ne produira pas d'allongement permanent, c'est-à-dire que, si l'on supprime l'action de cette charge, l'éprouvette revient (en moins d'un quart d'heure) à ses dimensions primitives (à 1/1.000 de millimètre près sur 200 millimètres);

(*b*) La *limite d'élasticité proportionnelle* sera la charge, rapportée au millimètre carré de la section primitive, correspondant au point P de l'échelle des efforts de traction, en deçà duquel les allongements sont sensiblement proportionnels aux charges (à 1/1.000 de millimètre près sur 200 millimètres, pour une variation de charge de 1 kilogramme par millimètre carré de la section de l'éprouvette);

(*c*) La *limite apparente d'élasticité* sera la charge, rapportée au millimètre carré de la section primitive, correspondant au point F de l'échelle des efforts de traction, au-delà duquel les allongements commencent à croître sensiblement, sans augmentation de l'effort. (Ce point correspond à l'arrêt ou à la chute des manomètres ou leviers des machines à essayer.)

2° La Commission renouvelle, en ce qui concerne la traction, le vœu

général déjà émis au sujet d'expériences à entreprendre pour vérifier si la coïncidence de ces trois limites existe ou non pour tous les métaux ou alliages à expérimenter.

3° La Commission émet, en outre, le vœu que les expériences du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, sur l'effet des charges constantes, soient reprises et répétées dans les cas les plus variés, de façon à établir les conditions du développement, avec le temps, de l'allongement spécifique des divers métaux, sous charge constante.

4° Il y aurait un certain intérêt à établir le rapprochement des efforts développés au cours d'un essai de traction avec les déformations correspondantes; la Commission émet le vœu que les expérimentateurs veuillent bien exécuter, à cet effet, notamment sur les fers et aciers, des expériences analogues à celles qui ont été effectuées déjà sur les cuivres et les laitons.

Efforts et allongements développés dans la période des déformations permanentes.

1° Dans la période des déformations permanentes, on mesurera la charge maximum supportée, mais il ne paraît pas utile, dans les essais de pratique courante, d'effectuer la mesure de la charge effective de rupture.

2° La charge totale est généralement rapportée à la section initiale, pour donner la valeur de l'effort exercé par millimètre carré.

3° En ce qui concerne la mesure des allongements, il suffit, en général, dans les essais de pratique courante, portant sur des produits d'une même fabrication bien déterminée, de mesurer l'allongement total après rupture.

S'il s'agit, au contraire, d'étudier des produits d'une fabrication nouvelle, ou de comparer entre eux des produits de fabrications différentes, il peut être utile de pratiquer quelques expériences spéciales afin de déterminer la valeur relative des divers éléments de l'allongement total.

4° Pour obtenir une mesure exacte de l'allongement total, il convient d'éliminer des essais tout barreau dont la striction n'est pas entièrement comprise entre les repères.

5° On complétera ces observations par la mesure de la section de rupture qui donne la striction $\left(\frac{\Omega_0 - \Omega_R}{\Omega_0}\right)$.

Coefficients de qualité.

1° Pour l'appréciation des résultats des essais de pratique courante, il ne paraît pas utile de recommander la mesure du travail de traction

2° Il en est de même des coefficients dits de qualité.

3° On ne peut guère se servir de ces coefficients que pour exprimer les tolérances d'une façon simple et abrégée; il n'y a pas lieu de recommander l'emploi de ceux qu'on a proposés jusqu'ici.

Mesure des efforts et des allongements.

1° Dans les essais ordinaires, les charges totales peuvent être mesurées avec une approximation de 25 kilogrammes pour les efforts inférieurs à 5.000 kilogrammes, et avec une approximation de 50 kilogrammes pour les efforts supérieurs à cette charge.

2° Pour fixer la précision à apporter dans la mesure des dimensions longitudinales et transversales des éprouvettes, on peut spécifier que toute dimension égale ou inférieure à 10 millimètres sera mesurée à 5/100 de millimètre près, et toute dimension supérieure à 10 millimètres à 1/10 de millimètre près.

Pour effectuer la mesure de la section de rupture, on prendra, dans le cas d'éprouvettes circulaires, l'aire d'un cercle ayant pour diamètre la moyenne de deux diamètres relevés, autant que possible, dans des directions perpendiculaires sur cette section.

Dans le cas d'éprouvettes carrées ou rectangulaires, on prendra l'aire d'un rectangle ayant pour largeur et pour épaisseur les largeur et épaisseur moyennes de la section de rupture.

Examen des cassures.

(Voir aux essais physiques.)

Dimensions des éprouvettes.

Section et longueur utiles.

1° Pour obtenir des résultats satisfaisants, il convient que les repères se trouvent à une distance des naissances des attaches ou des congés des têtes au moins égale au diamètre ou au plus grand côté de la section transversale de l'éprouvette.

2° Dans ces conditions, la forme des têtes paraît indifférente.

3° Lorsqu'on veut comparer, autant qu'il est possible, les allongements totaux après rupture d'éprouvettes de tracés différents, il faut observer une relation déterminée entre la section transversale de l'éprouvette et la longueur utile.

On adoptera à cet effet la formule suivante :

$$\Lambda^2 = \frac{200}{3}\,\Omega = 66{,}67\,\Omega.$$

4° On prendra pour les éprouvettes rondes :

Longueur entre repères..... $\Lambda = 200$ mm.
Diamètre..... $D = 27$ mm. 64.
Section..... $\Omega = 600$ mm².

ou toute autre éprouvette géométriquement semblable, notamment celles qui sont définies par le tableau ci-après :

DIAMÈTRES D	SECTIONS Ω	LONGUEURS ENTRE REPÈRES Λ	$\frac{\Lambda}{D}$
mm.	mm².	mm.	
27,64	600	200	7,235
19,55	300	141	
13,82	150	100	
9,77	75	70	

5° Les éprouvettes carrées d'épaisseur supérieure à 5 millimètres auront leurs dimensions rattachées entre elles, autant que possible, par la même formule :

$$\Lambda^2 = \frac{200}{3}\,\Omega = 66{,}67\,\Omega.$$

6° Pour faciliter la confection des éprouvettes rectangulaires, on les réunira en plusieurs séries, dans chacune desquelles la largeur sera constante. On pourra adopter à cet effet le groupement suivant :

LARGEURS l	ÉPAISSEURS e	SECTIONS Ω	LONGUEURS ENTRE REPÈRES Λ	DIFFÉRENCES ΔΛ
	mm.	mm².	mm.	mm.
30 millimètres.	5	150	100	9
	6	180	109	9
	7	210	118	8
	8	240	126	8
	9	270	134	7
	10	300	141	»
25 millimètres.	11	275	135	6
	12	300	141	6
	13	325	147	6
	14	350	153	5
	15	375	158	5
	16	400	163	5
	17	425	168	5
	18	450	173	5
	19	475	178	5
	20	500	183	»
20 millimètres.	21	420	167	4
	22	440	171	4
	23	460	175	4
	24	480	179	4
	25	500	183	4
	26	520	187	4
	27	540	191	3
	28	560	194	3
	29	580	197	3
	30	600	200	»

7° Pour les éprouvettes d'épaisseur inférieure à 5 millimètres, on adoptera les dimensions suivantes :

Les barreaux d'essai auront 100 millimètres entre les repères.
Ils seront rectangulaires.
Leur épaisseur sera celle de la bande à expérimenter.
Leur largeur sera déterminée d'après le tableau ci-après :

ÉPAISSEUR	LARGEUR
$5^{mm},00 > e > 2^{mm},8$.	14 mm.
$2^{mm},8 > e > 1^{mm},2$.	8 mm.
$1^{mm},2 > e$	6 mm.

Si l'on emploie des éprouvettes terminées par des têtes, les repères devront être tenus à 10 millimètres au plus des têtes, auxquelles on donnera les dimensions suivantes :

Leur largeur devra être environ deux fois celle du barreau, et leur longueur sera au moins égale à leur largeur.

Les têtes seront raccordées au corps par un congé compris entre la tête et le repère.

Ce congé, tangent au corps du barreau, sera formé par un arc de cercle de 6 millimètres de rayon.

Conduite de l'essai.

1° Il convient que l'essai soit exécuté par traction progressive.

2° La durée de l'essai doit être, dans une certaine mesure, fonction du volume de l'éprouvette.

3° Pour les essais courants d'éprouvettes de dimensions ordinaires, dont la section ne dépasse pas 600 millimètres carrés, et la longueur entre repères, 20 centimètres, il semble que la durée de l'essai peut être comprise entre une et six minutes.

4° Pour les éprouvettes d'épaisseur inférieure à 5 millimètres, la durée de l'essai peut s'abaisser à trente secondes.

5° Il faut éviter, surtout avec les métaux mous, de produire un échauffement sensible sur les barreaux.

CHAPITRE II.

ESSAIS DE COMPRESSION.

Essais sur pièces courtes.

1° Pour la recherche des limites de la période élastique, il est recommandé d'adopter l'usage d'éprouvettes cylindriques de $27^{mm},65$ de diamètre (600 millimètres carrés de section) et d'une longueur la plus réduite, quoique suffisante pour permettre d'observer les raccourcissements sur une longueur de 100 millimètres.

2° Si on veut déterminer seulement la résistance maximum à la compression ou à l'écrasement, on adoptera l'usage d'éprouvettes cylindriques de $19^{mm},56$ de diamètre (300 millimètres carrés de section) et de 20 millimètres de longueur, les bouts étant, dans tous les cas, terminés par des faces planes parfaitement normales à l'axe des éprouvettes.

Essai sur pièces longues (flambement).

1° La résistance au flambement est la charge minimum rapportée au millimètre carré de section qui produit le flambement.

Pour le fer et l'acier, la résistance au flambement n'est nullement proportionnelle à leur résistance à la traction et ne peut, dans l'état actuel de la science, être prévue d'après les résultats des essais usuels.

2° Les essais peuvent porter soit sur des pièces rivées, soit sur des barres, soit sur des barreaux prélevés dans ces pièces ou barres.

Pour que deux essais soient comparables, il suffit que le rapport de la longueur de l'éprouvette au rayon de giration minimum de la section ait la même valeur.

Dans les essais sur éprouvettes, il conviendra de donner à ce rapport des valeurs multiples de 5 ou de 10.

3° Il faut avoir soin de placer les barreaux essayés dans un état bien défini, tel que l'articulation parfaite ou l'encastrement complet.

4° Lorsque les barreaux sont articulés :

(*a*) Les attaches ne doivent produire, dans une mesure notable, ni frottement, ni encastrement, ni résistance quelconque qui retarde le flambement du barreau d'essai dans le plan de sa moindre résistance ;

(*b*) L'axe neutre du barreau doit être, aussi parfaitement que possible, centré, c'est-à-dire placé suivant une ligne droite passant par les points ou par les axes d'articulation.

5° Lorsque les barreaux sont encastrés :

(*a*) L'encastrement des extrémités doit être réalisé sans développer de moment de flexion dans le barreau d'essai ;

(*b*) L'axe neutre du barreau doit être parallèle au mouvement d'avancement des pièces dans lesquelles les extrémités du barreau sont encastrées.

6° On peut réaliser une articulation suffisamment parfaite en prenant, comme axes de rotation, les arêtes de biseaux à angle obtus formés d'acier trempé et ayant assez de longueur pour que la pression qu'ils auront à supporter ne les écrase ni ne les fasse pénétrer dans les platines en acier trempé qui leur transmettront la pression de la machine d'essai.

Cette disposition n'est pas indiquée à titre exclusif.

7° Pour les essais par encastrement, la Commission ne connaît aucune disposition satisfaisante ; elle émet le vœu que des études soient faites dans ce sens.

8° Pour que les essais soient plus exacts et plus comparables, on devra employer un dispositif permettant de constater l'existence et le sens des faibles flexions que prendra chaque barreau sous une charge initiale assez réduite pour ne pas lui causer de déformations permanentes, et permettant aussi de rectifier la position du barreau sous charge jusqu'à ce que les flexions soient sensiblement nulles.

CHAPITRE III.

ESSAIS DE FLEXION.

Essais sur éprouvettes.

Fontes.

1° La section des barreaux types finis sera de 40 millimètres sur 40 millimètres, à moins d'impossibilité.

2° Les barreaux servant aux essais seront dressés; les surfaces et les arêtes seront adoucies à la lime.

3° La longueur des barreaux d'essai sera déterminée d'après le type de la machine employée, de manière à dépasser seulement d'une quantité suffisante l'écartement des appuis qui délimite la longueur utile sur laquelle porte l'épreuve.

Dans l'appareil Monge, cette longueur utile est de 150 millimètres; dans la balance Joëssel, elle est de 500 millimètres. La longueur effective peut être fixée, dans le premier cas, à 500 millimètres, et à 600 dans le second.

4° Les machines employées aux essais de flexion doivent avoir des couteaux dont les faces convergentes forment un angle de 45 degrés et dont l'arête soit arrondie suivant un rayon de 2 millimètres.

5° La durée de l'essai devra être comprise entre une et deux minutes.

Lames d'acier à ressorts.

1° La lame d'essai prélevée dans la barre (sans modification de section) aura entre les points d'appui une longueur développée de 1 mètre.

2° La lame d'essai sera préparée dans les conditions de trempe et de recuit semblables à celles qui sont suivies pour la fabrication des ressorts.

3° La lame reposera sur deux chariots mobiles munis de couteaux en saillie, permettant à la lame de se développer pendant l'essai, sans changement sensible des points d'appui.

4° L'essai devra se faire sans arrêt ni suppression de charge jusqu'à la flèche imposée.

5° La progression de l'effort sera régulière et continue, et produite avec une vitesse telle que la durée de l'essai soit comprise entre deux et cinq minutes.

Essais sur pièces finies.

Ressorts à lames parallèles.

1° On devra ne soumettre, autant que possible, les pièces qu'à un effort inférieur à celui qui correspond à la déformation permanente du ressort.

2° Dans cet essai, les deux extrémités des ressorts doivent reposer sur deux petits chariots, afin de se déplacer aussi librement que possible sous les efforts de flexion agissant sur les ressorts.

Ressort en spirale.

On devra ne soumettre, autant que possible, les pièces qu'à un effort inférieur à celui qui correspond à la déformation permanente du ressort.

Rails et éclisses.

1° L'application de l'effort de flexion devra, autant que possible, être faite en vue de déterminer la charge correspondant à la limite d'élasticité proportionnelle.

2° La durée de l'essai doit être comprise entre deux et cinq minutes.

CHAPITRE IV.

ESSAIS DE PLIAGE, CINTRAGE ET COURBAGE.

Pliage.

1° L'uniformisation des dimensions des lamettes est désirable pour faciliter l'essai et simplifier les engins qui servent à l'opérer. On peut recommander les dimensions suivantes adoptées déjà dans bien des cas : 40 millimètres de largeur et 250 millimètres de longueur.

Pour les éprouvettes en cuivre ou en laiton, la longueur peut être réduite à 150 millimètres.

Les mêmes dimensions seront conservées, autant que possible, pour les essais de cintrage et de courbage.

2° L'essai de pliage doit être exécuté de préférence à la machine, car les résultats des épreuves effectuées à la main dépendent en grande partie de l'habileté de l'ouvrier, et elles n'ont de valeur comparative que si elles sont pratiquées par le même opérateur.

3° Il convient, d'ailleurs, dans les deux cas, de préciser toutes les

circonstances de l'épreuve, comme les dimensions et le mode de préparation des barrettes, l'état du métal, le mode d'exécution de l'essai.

4° Les conditions à recommander pour l'essai de pliage sont celles qui le réalisent sous un effort lent, progressif, et qui permettent d'obtenir le pli initial avec le rayon de courbure différant le moins possible de celui exigé pour le pli limite.

5° Quand on ne dispose que d'un étau pour faire l'essai, on peut recommander la façon d'opérer suivante, principalement pour des métaux devant subir un pliage limité à un angle obtus ou faiblement aigu :

(*a*) Saisir la lamette au tiers de sa longueur dans les mâchoires de l'étau, rendre sa partie libre solidaire d'une barre d'acier rigide, et se servir de cette barre comme d'un levier pour plier la lamette à bras et sans à-coup ;

(*b*) La liaison du levier avec la lamette se fera de façon à ce que l'effort ait son point d'application sur la partie la plus voisine de celle où doit se faire le pli ; suivant le rayon de courbure donné, ce point sera plus ou moins rapproché des mâchoires de l'étau.

6° Pour des métaux peu sensibles à l'écrouissage que détermine le choc, on pourra, à la rigueur, tolérer de faire le pliage au marteau.

7° On pourra opérer de même pour les pièces de petit échantillon : rivets, boulons, tirefonds, clavettes, goupilles, etc., et tout le matériel susceptible, à la mise en place ou à l'emploi, de subir une déformation par choc.

Cependant on devra tenir compte de l'habileté de l'opérateur et ne comparer entre eux que les résultats fournis par les mêmes mains.

8° Pour l'essai mécanique, en l'absence de toute machine spéciale, on doit préconiser l'emploi de la presse hydraulique ou du marteau-pilon à double effet, transmettant lentement l'effort au moyen d'un dégorgeoir à arête arrondie et rayon variable, sur le milieu de la lamette posée sur un empreint. L'écartement des points d'appui de la lamette sur l'empreint devra être au maximum égal à la moitié de sa longueur, afin d'éviter que ses branches ne fléchissent et ne prennent une déformation plus ou moins accentuée pendant le pliage.

Cintrage.

L'essai de cintrage sur mandrin doit être effectué, autant que possible, à la machine, dans les mêmes conditions que l'essai de pliage.

Il n'est pas encore possible de fixer toutes les précautions à observer dans l'essai de cintrage ; il conviendra tout au moins, pour faciliter la comparaison, de noter soigneusement toutes les circonstances de l'essai : les dimensions de l'éprouvette, le mode de cintrage employé, le diamètre du mandrin, et d'indiquer si on a opéré à la main ou autrement, et avec quel type de machine.

Il sera bon également de marquer sur la barrette d'essai des points de repère d'un écartement déterminé, de manière à apprécier l'allongement obtenu dans le cintrage.

Courbage.

Dans l'essai de courbage, la barrette laissée libre en son milieu est saisie par ses extrémités dans deux mâchoires qui agissent en se rapprochant pour la courber. La région courbée prend alors une forme circulaire dont le rayon dépend de la qualité du métal et des dimensions de l'éprouvette. On doit adopter des dispositions de machines permettant de mesurer à chaque instant l'effort développé et la déformation correspondante.

CHAPITRE V.

ESSAIS DE TORSION.

La Commission émet le vœu que des expériences soient poursuivies sur ce sujet, car la résistance à la torsion présente en elle-même un intérêt spécial.

Il serait très utile pour les constructeurs d'être mieux fixés sur la relation qui existe entre la résistance à la torsion et la résistance à la traction d'un même métal, et de connaître la loi de décroissance du rapport de ces deux résistances, lorsque la résistance à la traction va en augmentant.

CHAPITRE VI.

ESSAIS MIXTES (CISAILLEMENT ET POINÇONNAGE).

Cisaillement.

1° La Commission émet le vœu que des expériences soient poursuivies sur ce sujet, car la résistance au cisaillement présente en elle-même un intérêt spécial.

Il serait très utile pour les constructeurs d'être mieux fixés sur la relation qui existe entre la résistance au cisaillement et la résistance à la traction d'un même métal, et de connaître la loi de décroissance du rapport de ces deux résistances, lorsque la résistance à la traction va en augmentant.

2° On peut effectuer cet essai avec les mêmes machines qui servent aux essais de traction ou de compression.

3° Quand on prendra des éprouvettes cylindriques, on adoptera les trois diamètres de 10, 20 ou 30 millimètres, suivant la puissance de la machine d'essai dont on disposera.

4° Les épreuves doivent porter successivement sur la résistance au cisaillement simple et sur la résistance au cisaillement double.

5° Dans le premier cas, les deux pièces que traverse la broche-éprouvette doivent être entaillées chacune de leur demi-épaisseur; la traction ou la compression doit s'exercer dans le même plan que leurs faces de contact, de manière à éviter, autant que possible, toute tendance à la flexion.

6° Dans le cas du cisaillement double, il est recommandé d'adopter le dispositif consistant à faire passer à frottement très doux la broche-éprouvette à travers deux flasques d'acier trempé, dont l'une embrasse exactement l'œil de l'autre par une fourchette très soigneusement ajustée.

7° Les têtes des deux flasques auront une forme appropriée au type de la machine d'essai employée. L'écartement des branches de la fourchette qui termine l'une des flasques, ainsi que l'épaisseur de l'extrémité de la seconde flasque embrassée par la première, sera égal au diamètre de la broche-éprouvette et, par suite, au diamètre des trois trous que cette broche traverse.

Poinçonnage.

1° La Commission émet le vœu que des expériences soient poursuivies sur ce sujet.

2° Pour effectuer l'épreuve de poinçonnage proprement dite sur des bandes détachées dans les tôles ou profilées, on pourra donner à ces bandes une largeur égale à quatre fois l'épaisseur de la tôle, et pratiquer un ou plusieurs trous de diamètre égal à une fois et demie cette épaisseur; on pourra adopter un espacement des trous égal à la distance des bords.

3° Avec les machines bien construites et bien entretenues, le jeu total à observer entre la matrice et le poinçon peut être limité à 3/10 de millimètre pour un diamètre inférieur à 10 millimètres, à 5/10 de millimètre pour un diamètre compris entre 10 et 30 millimètres, et à 1 millimètre pour un diamètre supérieur. (Il y a inconvénient à avoir un jeu trop élevé, car le métal se déchire davantage.)

4° Cet essai est effectué habituellement dans les conditions courantes du travail des ateliers, sans enregistrement de pression ni de vitesse; il serait bon toutefois de pouvoir prendre note de ces éléments.

DEUXIÈME CLASSE.

Méthodes d'épreuve opérant par action brusque.

1° L'emploi du choc dans les essais donne des renseignements que ne peut pas fournir l'action graduée.

2° Le choc peut être employé à produire des effets analogues à ceux que donnent les diverses méthodes par action graduée; mais, en pratique, on n'emploie que les essais de flexion, de pénétration et de perforation.

3° On a effectué également certaines expériences de laboratoire sur la traction par choc, mais cette épreuve n'est pas employée d'une façon courante.

4° L'essai au choc par explosif présenterait aussi certains avantages: il exige des explosifs bien dosés. La Commission estime qu'il serait intéressant d'effectuer à ce sujet des expériences méthodiques.

CHAPITRE PREMIER.

ESSAIS DE FLEXION PAR CHOC.

1° Dans les essais au mouton, le choc est caractérisé à la fois par le poids du mouton et la hauteur de sa chute, et non pas seulement par leur produit; il convient donc de noter séparément ces deux éléments.

2° Il y aurait lieu de faire des recherches en vue de déterminer suivant quelle loi il faut faire varier les valeurs de ces deux éléments pour produire un effet déterminé sur une éprouvette ou sur une pièce de poids donné.

3° Il y aurait lieu de faire une série méthodique d'expériences pour déterminer les hauteurs de chute les plus avantageuses et les poids les plus convenables, suivant le métal à étudier par les essais au choc, en raison notamment de ce fait que, pour chaque métal, il semble y avoir une hauteur de chute à partir de laquelle la fragilité augmente rapidement.

4° Il y aurait lieu de faire une série méthodique d'expériences pour comparer les résultats des essais par chocs à hauteurs constantes, croissantes et décroissantes, comme suite aux essais déjà faits sur la fonte par l'Artillerie de marine, par chocs à hauteur constante et à hauteurs croissantes.

5° Des expériences étant en cours par les soins de l'Artillerie de marine pour comparer l'effet des essais au choc avec ou sans retournement des barreaux, il y a lieu de surseoir à toute conclusion sur ce sujet.

6° Il serait intéressant, pour des objets fabriqués comparables, d'opérer

les essais au choc avec des moutons de même poids, tombant de la même hauteur, sur des chabottes de même masse et suivant des circonstances accessoires identiques.

7° Dans tous les cas, pour les pièces fabriquées (et cette conclusion domine toutes les autres pour ces pièces), quel que soit le mode d'essai employé, il convient que l'essai au choc corresponde aux chocs les plus forts que la pièce doit supporter en service, en exagérant à la fois les divers éléments pris séparément (masse, vitesse, etc.).

8° Il serait intéressant, pour les métaux bruts à comparer, d'opérer les essais au choc sur des barrettes de hauteur et de largeur déterminées, placées sur des supports dont la forme et l'écartement seraient également déterminés, et d'employer des moutons de même poids tombant des mêmes hauteurs sur des chabottes de même masse.

Il semble qu'on pourrait considérer comme convenables, pour les essais de barreaux d'épreuve, les données du tableau ci-après, qui paraissent les plus couramment employées.

TABLEAU A (*).

NATURE DU MÉTAL	SECTION CARRÉE du barreau d'épreuve (côté du barreau)	LONGUEUR des barreaux d'épreuve	ESPACEMENT des couteaux	CHUTE — HAUTEUR constante	CHUTE — HAUTEURS croissantes
	m.	m.	m.		cm.
Fonte moulée	0,04	0,20	0,16	Variant suivant la nature du métal.	0,25; 0,30; 0,32; 0,34; 0,36; etc.
Acier moulé	0,03	0,20	0,16		
Bronze ou laiton	0,03	0,20	0,16	*Idem.*	à déterminer par des expériences ultérieures.
Gros aciers en barres	0,03	0,20	0,16		
Gros fers en barres	0,03	0,20	0,16		

Pour les essais de précision, les barreaux seront rabotés; les surfaces et les arêtes seront adoucies à la lime

9° Les poids et hauteurs de chute, ainsi que les circonstances accessoires de l'essai, devront être choisis de manière à produire, autant que possible, en les exagérant, séparément, dans leurs divers éléments (masse, vitesse, etc.), des effets analogues à ceux que le métal est destiné à subir du fait des chocs auxquels il doit être soumis en service.

10° Dans l'installation du mouton, la panne devra être terminée par

(*) Les lignes horizontales du tableau A correspondent à celles du tableau B.

une partie cylindrique dont l'axe sera horizontal et situé dans le plan du guidage; le développement de cette partie cylindrique sera de 90 degrés; son rayon sera déterminé, pour chacun des principaux types de mouton destinés aux essais par choc des barreaux d'épreuve, comme il est indiqué au tableau suivant:

TABLEAU B (*).

NATURE DU MÉTAL DU BARREAU	POIDS DU MOUTON	RAYON de LA PANNE
	kg.	cm.
Fonte moulée	12	5
Acier moulé	18	3
Bronze ou laiton	18	3
Gros aciers en barres	50	3
Gros fers en barres	50	3

L'extrémité de la panne pourra être démontable; mais, dans ce cas, elle doit être très solidement fixée au corps du mouton.

Les couteaux doivent être solidement fixés à la chabotte.

Les arrêtes des couteaux doivent être parallèles au plan du guidage; leur plan doit être horizontal.

Les arêtes des couteaux doivent être formées de deux faces faisant entre elles un angle de 45 degrés et raccordés par un arc de cercle de 2 millimètres de rayon.

11° La pièce à essayer, s'il s'agit d'un barreau, doit être placée normalement aux couteaux, et son axe horizontal doit rencontrer l'axe vertical du mouton.

12° Selon l'emploi auquel est destinée la pièce (chocs en service ne pouvant pas l'altérer, ou de nature à l'altérer), on pourra accepter ou non l'emploi d'un chapeau, entre cette pièce et la panne du mouton. En tout cas, on devra mentionner que l'essai est fait avec ou sans chapeau intermédiaire.

13° Dans le cas où l'on ne disposerait que d'éprouvettes trop courtes pour permettre l'essai ordinaire au mouton, on a recours à l'encastrement de l'éprouvette. La pièce d'encastrement doit tenir l'éprouvette d'une manière rigide; cette pièce doit être disposée de manière à permettre de ramener pour chaque coup à l'horizontalité, par une rotation autour d'un axe horizontal, la partie de l'éprouvette destinée à recevoir le choc du mouton.

(*) Les lignes horizontales du tableau B correspondent à celles du tableau A.

Épreuve de l'escarpolette.

L'épreuve de l'escarpolette, effectuée soit avec un mouton oscillant, soit par simple chute sur le sol, est un essai simple qui donne immédiatement une indication importante sur la fragilité de la pièce essayée; mais cet essai n'appelle évidemment pas l'unification.

CHAPITRE II.

ESSAIS DE PÉNÉTRATION SUPERFICIELLE PAR CHOC.

1° Toute latitude peut être laissée aux expérimentateurs pour le choix du poids du mouton et de la hauteur de chute ; toutefois, cette dernière doit être réglée de façon à éviter les rebondissements du mouton.

2° On peut adopter une forme quelconque de couteau, pour que le volume de l'empreinte puisse se calculer en fonction d'une de ses dimensions.

Il faut éviter l'emploi des couteaux à arêtes courbes.

Les couteaux les plus commodes sont ceux qui ont des angles très obtus dans les deux sens, parce qu'ils donnent des empreintes plus longues à égalité de volume, qu'ils évitent le gonflement de la surface et les écarts latéraux.

3° Pour éviter toute perte de force vive dans le choc, le couteau doit être fixé très solidement au mouton.

4° On doit chercher à avoir une empreinte aussi longue que possible, afin de diminuer l'erreur relative sur la lecture, dont l'approximation absolue peut être fixée à $0^{mm},1$; en conséquence, le travail de chute devra croître avec la résistance du métal.

5° L'éprouvette doit être solidement maintenue sur l'enclume au moyen de griffes ou de colliers ; sa face supérieure doit être horizontale, et l'emplacement de l'empreinte, soigneusement poli.

Le couteau ne doit pas se déformer au choc ni s'égrener sur les arêtes.

6° Le seul résultat indépendant des divers éléments de l'épreuve étant le rapport du travail de chute au volume de l'empreinte, on devra toujours le calculer et l'enregistrer pour avoir la possibilité de faire des comparaisons.

7° La Commission émet le vœu que l'on pratique, concurremment avec les essais de pénétration par choc, des essais de pénétration par compression graduée.

CHAPITRE III.

ESSAIS DE PERFORATION PAR CHOC.

L'essai de tir est le seul essai de perforation par choc actuellement usité.

Cette épreuve a été bien étudiée au point de vue de l'influence qu'exercent le calibre et le poids du projectile, ainsi que la vitesse de tir par rapport à l'épaisseur de la plaque à traverser. Il serait à désirer qu'on pût apprécier également l'influence de la dureté superficielle et de la masse de la plaque, et qu'on pût reconnaître s'il existe quelques relations entre la résistance à la perforation et les résultats des essais divers brusques ou gradués, auxquels on veut soumettre des échantillons détachés de la plaque.

La Commission émet le vœu que des expériences soient poursuivies à ce point de vue.

TROISIÈME CLASSE

Étude de la dureté et de la fragilité.

CHAPITRE PREMIER.

DÉFINITIONS ET MÉTHODES DE MESURE PROPOSÉES.

La définition précise des propriétés de dureté, de fragilité et de plasticité, est une question de terminologie technique, dont l'examen est réservé pour une session ultérieure.

En dehors de ces études théoriques, il est intéressant d'effectuer certains essais pratiques pour apprécier la dureté par striage, la résistance à l'usure par frottement, la fragilité après écrouissage et la fissilité.

CHAPITRE II.

ESSAIS DE DURETÉ PAR STRIAGE ET DE RÉSISTANCE A L'USURE.

1° La Commission estime que l'application de la méthode sclérométrique est susceptible de donner des résultats intéressants pour l'appréciation de la qualité des métaux, spécialement avec les aciers de nuances dures.

2° Les essais de résistance à l'usure n'ont pas encore pénétré dans la pratique courante ; cependant, il y aurait grand intérêt à mesurer cette résistance par des expériences appropriées, et à déterminer les relations qu'elle peut présenter avec la dureté.

La Commission émet le vœu que les expériences déjà effectuées à ce point de vue soient poursuivies et complétées.

CHAPITRE III.

ÉPREUVE DE PLIAGE APRÈS ÉCROUISSAGE A FROID PAR POINÇONNAGE OU APRÈS INCISION.

1° Les essais scientifiques destinés à apprécier la fragilité après écrouissage et la fissilité doivent étudier séparément ces deux défauts, de manière à déterminer les rapports qu'ils peuvent avoir entre eux.

2° On peut étudier la fragilité en pliant des barreaux dont les fibres extérieures auront été écrouies, mais ne présenteront pas de fentes apparentes.

3° On peut étudier la fissilité en pliant des barreaux dont les fibres extérieures auront été incisées à angle aussi vif qu'il est possible de le faire d'une manière pratique et constante dans ses effets.

On devra noter la nature, la profondeur et la forme de l'incision, l'angle de flexion maximum du barreau, le rayon intérieur du congé, le poids et les hauteurs de chute du mouton.

4° Comme essai pratique, pour la réception des barreaux qui doivent subir le poinçonnage, on peut recommander le pliage des barreaux percés au poinçon.

On opérera le poinçonnage dans les conditions indiquées précédemment pour l'essai de poinçonnage simple, puis on soumettra la barrette poinçonnée à un essai de pliage effectué soit à la main, soit à la machine.

5° Si on opère à la main, on saisira dans un étau la barrette ainsi percée jusqu'à 10 millimètres du bord du trou ; on frappera l'autre moitié à grands coups de marteau à main.

L'angle de flexion supporté par la barrette au moment de l'apparition de criques d'une importance déterminée (par exemple, de 1/2 millimètre d'ouverture) donnera une mesure de la qualité que le métal présente à ce point de vue spécial.

6° On notera si la bavure du poinçonnage a été placée à l'intérieur ou à l'extérieur pendant la flexion.

7° Si l'on adopte d'autres conditions d'essai que celles indiquées ci-dessus, on les notera également.

8° On pourra pratiquer également des épreuves de traction sur les éprouvettes poinçonnées et on appréciera la qualité du métal d'après la résistance et l'allongement observés.

QUATRIÈME CLASSE.

Essais de fabrication.

CHAPITRE PREMIER.

ESSAIS DE FAÇONNAGE A FROID.

Essais d'élargissement au mandrin.

Épreuve pratiquée sur barrettes portant des trous forés ou poinçonnés.

1° L'épreuve d'élargissement au mandrin des trous forés ou poinçonnés donne des renseignements intéressants sur la fissilité du métal, et il convient de l'unifier dans la mesure où elle peut l'être.

2° On peut employer à cet effet, dans les essais sur éprouvettes, des mandrins ayant une conicité de 1/10 (1 millimètre de diamètre par centimètre de hauteur).

3° L'essai est pratiqué ordinairement soit au marteau à devant, soit au pilon, sans relevé de vitesse ; il serait intéressant de noter ces conditions, ne fût-ce qu'à titre de renseignement.

4° Il est indispensable de noter si le trou élargi a été obtenu à la mèche, par simple forage ou par poinçonnage.

Épreuves pratiquées sur diverses pièces finies.

1° L'essai d'élargissement au mandrin est appliqué aussi sur certaines pièces finies, comme les frettes à canons et les moyeux de roues, mais les données recueillies sur cette épreuve ne paraissent pas suffisantes pour permettre de l'unifier.

Il sera bon de noter les conditions d'exécution : conicité du mandrin, poids du mouton et nombre de coups ou pression développée, élargissement obtenu, etc.

2° On pourra recourir, d'autre part, à l'épreuve de mandrinage pour apprécier la fissilité des barres en cuivre pour entretoises de foyers, en pratiquaut un avant-trou de 6 millimètres de diamètre et en y enfonçant un mandrin de 60 degrés de conicité ; on notera l'importance des fentes produites au cours de l'essai.

Essais d'emboutissage.

1° L'épreuve d'emboutissage à froid donne des renseignements intéressants sur la malléabilité des tôles, et il convient d'essayer de l'unifier dans la mesure du possible.

2° Les épreuves à la main dépendent en grande partie de l'habileté de l'ouvrier, et n'ont de valeur comparative que si elles sont effectuées par le même opérateur.

Il est préférable d'opérer à la machine, surtout à la presse hydraulique, qui donne un effort continu et bien approprié.

3° Il sera bon d'adopter des conditions d'installation uniformes pour faciliter la comparaison.

4° Avec le fer et ses dérivés, on pourra adopter la cuve de 20 centimètres de diamètre, pour les épaisseurs inférieures à 3 millimètres, et la cuve de 30 centimètres pour les épaisseurs supérieures à 3 millimètres.

Pour les tôles des métaux mous, comme le cuivre, on pourra conserver le diamètre uniforme de 20 centimètres.

Si on adopte des chiffres différents, il sera nécessaire de les noter.

5° La malléabilité sera appréciée par la flèche obtenue avant l'apparition des criques.

6° Il sera bon que la presse employée soit munie d'un manomètre permettant d'apprécier l'effort développé.

Essais d'aplatissement et d'écrasement.

1° L'épreuve d'aplatissement donne des renseignements intéressants sur la malléabilité du métal ; il sera bon, en pratiquant cet essai, d'en noter toutes les circonstances, car il n'est pas encore possible d'unifier complètement les conditions d'exécution.

2° Pour les barres soudées destinées à la fabrication des rivets, on pourra, en vue de faciliter la comparaison, choisir des ronds de hauteur égale au diamètre et les aplatir sous le pilon. On notera la réduction de hauteur obtenue avant qu'il se produise aucune déchirure ; on indiquera s'il s'agit d'un essai avant ou après trempe.

3° Dans l'essai d'écrasement au marteau pratiqué sur des échantillons plats, pour les métaux mous par exemple, on notera le rapport de la surface élargie qu'on pourra obtenir, à la surface initiale, et aussi le rapport des épaisseurs si la pièce présente une épaisseur uniforme.

CHAPITRE II.

ESSAIS DE FAÇONNAGE A CHAUD SUR LES FERS ET ACIERS.

Essais de pliage.

1° Les essais normaux de pliage s'exécuteront en une seule chaude.

2° Pour les tôles, les bandes d'essai auront une longueur de 250 millimètres et une largeur de 40 millimètres ; elles seront pliées avec un rayon au plus égal à l'épaisseur de la tôle.

Il sera fait soit un ou plusieurs pliages en sens inverse avec le même angle dans chaque sens, soit un ou plusieurs pliages à bloc suivis de redressements.

3° Pour les cornières, l'essai de pliage, qui se fait en ouvrant ou fermant les ailes, portera sur une longueur de 100 millimètres.

Il sera fait soit un seul pliage, soit plusieurs en sens inverse faisant le même angle avec la position initiale de l'aile soumise au pliage.

4° Pour les profilés, on opérera de même, après les avoir, s'il y a lieu, découpés en forme de cornières, pour la commodité de l'essai.

Essais de cintrage.

Afin d'obtenir, autant que possible, des résultats comparables, il y a lieu d'adopter, pour les produits laminés, les mesures suivantes :

Tôles. — L'essai consistera à confectionner un manchon cylindrique dont la hauteur sera égale à vingt-cinq fois l'épaisseur de la tôle.

Cornières et profilés. — L'essai consistera à confectionner un manchon cylindrique ou demi-cylindrique suivant le cas, en conservant une aile dans son plan primitif.

Essais d'emboutissage.

1° L'essai d'emboutissage à chaud sera effectué, autant que possible, à la presse, dans les conditions indiquées pour l'emboutissage à froid.

2° La qualité du métal sera appréciée d'après la flèche obtenue sur la cuve ayant le rayon déterminé pour les essais à froid.

Essais des crochets.

1° Cet essai sera exécuté généralement en prélevant des quantités de matière permettant d'obtenir, par forgeage, des éprouvettes rondes de

20 millimètres de diamètre pour le fer, et de 16 millimètres pour l'acier.

2° Ces éprouvettes, chauffées à une température déterminée, subiront l'essai en une seule chaude.

3° Dans cet essai, le pliage se fera à 90 degrés.

Essais de perçage.

1° Pour tous les essais de perçage, les fers ronds seront ramenés à une épaisseur égale au tiers de leur diamètre primitif.

2° *Perçage d'un seul trou.* — Cet essai sera exécuté en une seule chaude.

3° *Perçage de deux trous.* — La distance des centres des trous sera égale au tiers de la largeur de la barre, s'ils sont percés suivant la largeur ; elle sera égale à leur diamètre augmenté de 10 millimètres, s'ils sont percés suivant la longueur.

Cet essai sera fait en une seule chaude ou en deux, suivant que l'épaisseur du fer sera inférieure ou supérieure à 60 millimètres.

On pourra accorder une chaude en plus, si le perçage est suivi d'un pliage.

Essais de rabattement.

1° Ces essais seront exécutés en une seule chaude.

2° *Fers ronds, carrés ou plats.* — La fente aura une longueur égale à une fois et demie le diamètre ou la largeur du fer ; elle ne sera pas limitée par un trou.

3° *Profilés.* — La fente aura une longueur égale à trois fois la hauteur du fer ; elle sera faite à froid et limitée par un trou également percé à froid.

Essais d'étirage et d'aplatissement.

La Commission ne mentionne que pour mémoire ces essais, qui ne paraissent pas encore susceptibles d'être réglementés.

Essais de soudabilité.

1° Les essais de soudabilité se font de trois manières : par traction, perçage et pliage.

2° Dans les essais par traction, la partie soudée doit être placée, autant que possible, au milieu de la longueur utile.

3° Dans les essais par perçage, le trou sera percé dans le plan de la soudure, après qu'on aura forgé en carré le barreau soudé ; le diamètre du trou doit être égal à la largeur du barreau forgé en carré.

4° Dans les essais par pliage, le pliage sera fait à froid, parallèlement

au plan de soudure sur les barreaux non percés, et perpendiculairement à ce plan sur les barreaux ayant subi l'essai de perçage indiqué ci-dessus.

CINQUIÈME CLASSE

Essais spéciaux pratiqués sur certaines pièces finies.

CHAPITRE PREMIER.

ESSAIS DES FILS MÉTALLIQUES.

Essais de traction.

1° La longueur du bout à expérimenter sera choisie de manière que la partie comprise entre les organes d'attache soit un peu supérieure à 1 mètre.

2° Les repères seront exactement distants de 1 mètre

3° Il convient de recommander de n'essayer que des échantillons bien dressés, soumis préalablement à la plus petite tension initiale possible. Cette tension devra, d'ailleurs, être indiquée en même temps que les résultats.

4° L'épreuve, dont la durée est variable avec la nature et la section du fil, sera conduite de manière à éviter les chocs, les accroissements brusques d'efforts et, autant que possible, l'échauffement du métal.

5° L'essai à la traction sera, autant que possible, exécuté à une température comprise entre 10 et 30 degrés ; dans le cas contraire, on notera la température d'épreuve. Il en sera de même pour les autres essais de pliage, enroulement, torsion, etc.

6° L'essai ne sera considéré comme régulier que si la rupture se produit entre les repères, et à 10 millimètres au moins du point de repère le plus voisin.

Essais de pliage.

1° L'essai de pliage sera exécuté, les pliages seront définis et décomptés dans les conditions suivantes :

(α) Un échantillon rectiligne de fil sera serré dans des mordaches présentant des bords arrondis sous un rayon égal à quatre fois le rayon du fil ;

(*b*) Le premier pliage correspondant à un angle de 90 degrés sera obtenu en amenant le fil au contact de la face extérieure de l'une des mordaches. Ce second pliage s'obtiendra en amenant le fil, par un mouvement de 180 degrés, au contact de la face extérieure de la seconde mordache, ce mouvement comprenant un redressement de 90 degrés et un pliage en sens inverse de 90 degrés. Le troisième pliage ramènera le fil au contact de la première mordache, et ainsi de suite ;

(*c*) Le nombre des pliages sera compté comme égal au nombre des contacts diminué ou non de un, selon que la rupture se produira avant ou après le retour dans le plan de serrage.

2° L'essai à la machine doit être préféré à l'essai à la main, comme offrant plus de garanties de comparabilité et d'exactitude.

3° Les pliages et redressements successifs doivent être effectués par mouvements alternatifs aussi réguliers que possible et se succédant sans arrêt jusqu'à rupture.

4° La cadence à suivre sera d'une demi-seconde environ pour le passage de la position initiale au premier contact, et de une seconde environ pour le passage d'un contact à l'autre à partir du premier, ce qui correspond à une vitesse angulaire de 180 degrés par seconde.

5° Le serrage du fil devra être réduit au strict nécessaire ; on arrêtera le glissement du fil au moyen d'un dispositif quelconque agissant à une certaine distance, 10 millimètres au moins, du point de pliage.

6° La traction de pliage sera le dixième environ de la résistance maximum absolue à la traction exigée du fil.

Essais d'enroulement.

1° L'essai à la machine doit être préféré à l'essai à la main, comme donnant plus de garanties d'exactitude et de comparabilité.

2° L'enroulement et le déroulement qui lui succèdent seront exécutés d'un mouvement uniforme avec une vitesse angulaire d'environ 180 degrés par seconde.

3° Pour éliminer l'influence de l'organe d'attache, l'examen du fil portera exclusivement sur les spires autres que la première, que celle-ci soit rompue ou non.

4° Le diamètre d'enroulement, variable avec la destination du fil, ne saurait être fixé ; il est toutefois désirable que ce diamètre soit toujours un multiple simple de celui du fil. Il devra être bien spécifié.

5° La traction d'enroulement et de déroulement sera le dixième environ de la résistance maximum absolue à la traction exigée du fil.

6° Le nombre des spires pourra être fixé uniformément à dix.

Essais de torsion.

1° La longueur du bout à essayer sera choisie de manière que la partie comprise entre les organes d'attache soit de 20 centimètres.

2° La torsion sera exécutée d'un mouvement uniforme avec une vitesse angulaire de 180 degrés environ par seconde.

3° L'essai ne sera considéré comme régulier que si la rupture se produit à 10 millimètres au moins de l'organe d'attache le plus voisin.

4° La traction sous laquelle se fera l'épreuve sera le dixième environ de la résistance maximum absolue à la traction exigée du fil.

5° La Commission émet le vœu que la question des déformations de torsion continue à faire l'objet de recherches scientifiques.

Essais divers.

Il n'y a pas lieu, au moins quant à présent, de définir d'autres épreuves; mais il est à désirer que les expérimentateurs pratiquant des essais différents de ceux indiqués ci-dessus en fassent connaître les conditions et les résultats.

La Commission émet le vœu que l'on constitue des expériences scientifiques pour étudier l'action du choc sur les fils métalliques.

Essais physiques et chimiques.

Les recommandations correspondant à ces essais ont été exposées plus haut.

Étude des jauges servant à désigner les fils.

La Commission émet le vœu que la question des jauges et de leurs graduations soit mise à l'étude en vue d'arriver à une uniformisation (*).

(*) La *Société d'encouragement pour l'industrie nationale* a proposé une jauge métrique où les fils sont désignés par leur diamètre en dixièmes de millimètre (Voir *Bulletin* de la Société de juin 1894).

CHAPITRE II.

ESSAIS DES CABLES MÉTALLIQUES.

Essais de traction.

1° Avant de détacher du câble l'échantillon à essayer, le bout à tronçonner sera fortement armé, à ses deux extrémités, d'une ligature d'au moins 25 millimètres de longueur.

2° La longueur d'épreuve sera choisie de manière que la partie comprise entre les organes d'attache soit un peu supérieure à 1 mètre.

3° Les repères seront exactement distants de 1 mètre.

4° Le bout essayé devra être aussi rectiligne que possible; la tension initiale destinée à assurer le dressage sera aussi faible que possible; elle sera toujours notée en même temps que les résultats.

5° L'épreuve dont la durée est variable avec le type de câble essayé sera conduite de manière à éviter les chocs, les accroissements brusques d'efforts et, autant que possible, l'échauffement du métal.

6° Il y a lieu de continuer à rapporter, suivant l'usage, la résistance totale au poids par mètre linéaire.

Toutefois, il est recommandé d'indiquer, en même temps que la résistance absolue et le poids par mètre, la composition du câble, afin de permettre, au besoin, le calcul de la résistance par millimètre carré de la section des fils constituants.

7° En ce qui concerne la mesure de l'allongement, on peut se borner à considérer l'allongement relevé sous traction maximum.

8° En pratique, on n'opère guère en soumettant le câble, avant de le rompre, à une traction permanente sous charge réduite. Cependant, cette méthode paraît présenter un certain intérêt, car elle permet de déterminer la proportion des fils rompus sous cette traction, et elle peut donner, par suite, des indications utiles sur la répartition de l'effort.

Dans le cas où on l'adopterait, il conviendrait de maintenir la traction pendant cinq minutes au moins et de lui donner une valeur en rapport simple avec la résistance maximum absolue à la traction exigée du câble, en adoptant, par exemple, les huit ou les neuf dixièmes de cette résistance.

9° L'essai devra, autant que possible, être exécuté à une température comprise entre 10 et 30 degrés; dans le cas contraire, on notera la température d'épreuve.

Essais de souplesse.

1° La souplesse peut s'évaluer :

(*a*) Soit en mesurant l'effort de traction à faire subir à un bout de câble plié en son milieu sur un cylindre horizontal de diamètre donné, pour que la distance intérieure des deux brins, mesurée dans le plan horizontal inférieurement tangent au cylindre, ne soit pas supérieure de plus de 1 millimètre au diamètre dudit cylindre;

(*b*) Soit en mesurant l'effort de traction à exercer sur le brin libre d'un bout de câble enroulé sur un cylindre de diamètre donné, pour qu'il y ait partout contact des spires et du cylindre.

La connaissance de ces efforts et des diamètres permettra d'évaluer la souplesse absolue.

2° La souplesse relative ne pourra s'évaluer que si on a soin de joindre à ces deux quantités l'indication de la résistance maximum à la traction et de la composition du câble.

3° La souplesse peut être évaluée également par des essais divers comme pliages, enroulements, déroulements, torsions, etc., mais ces essais sont encore peu usités. La Commission émet le vœu que les expérimentateurs qui auraient pratiqué ou qui étudieraient ces méthodes en fassent connaître les conditions et les résultats.

4° Les essais de traction par choc sont aussi trop peu usités pour qu'on puisse les réglementer; mais il y aurait un très grand intérêt à ce que des études fussent poursuivies à cet égard.

CHAPITRE III.

ESSAIS DES CHAÎNES.

Essais de traction graduée.

Essais pratiqués sous charge modérée.

1° L'effort de traction modérée auquel on soumet les chaînes, sur toute leur longueur, doit avoir une valeur variable suivant la nature et les dimensions des chaînes; cet effort est souvent le double de la charge prévue en service.

Pendant que la chaîne est soumise à cet effort, on examine soigneusement les maillons et on vérifie s'ils ne présentent aucun défaut de nature à nuire à la sécurité de l'emploi; on devra également mesurer l'allongement total.

2° La durée de l'épreuve doit être de cinq minutes au moins.

Essais poussés jusqu'à rupture.

1° Le bout à essayer aura une longueur telle que la partie soumise aux efforts de traction soit, autant que possible, de dix maillons.

2° On pourra toutefois diminuer le nombre de maillons pour les chaînes de fortes dimensions.

3° Le bout essayé devra être aussi rectiligne que possible ; la tension initiale destinée à assurer le dressage sera également aussi faible que possible ; elle sera toujours notée en même temps que les résultats.

4° On devra, s'il est nécessaire, soutenir les maillons par un dispositif convenable.

5° On mesurera la déformation des maillons sous diverses charges, et on notera surtout la charge à laquelle ils commencent à se déformer d'une manière permanente.

6° L'épreuve, dont la durée est variable avec la nature de la chaîne, sera conduite de manière à éviter les chocs, les accroissements brusques d'effort et, autant que possible, l'échauffement du métal.

7° La température sera, autant que possible, comprise entre 10 et 30 degrés ; dans le cas contraire, on notera la température d'épreuve.

Essais de traction par choc.

Les essais de ce genre sont trop peu usités pour qu'il soit possible de les réglementer. Il conviendrait d'en faire l'objet d'une étude approfondie.

CHAPITRE IV.

ESSAIS DES RIVETS.

Il convient de régulariser les essais auxquels on soumet les rivets pour s'assurer de leur aptitude à un bon rivetage.

Ces essais pourront être de deux sortes :

Premier mode d'essai. — Avec des morceaux pris dans les barres destinées à produire les rivets, on fabrique un certain nombre de rivets à tête bouterollée non fraisée, et on rive, au marteau ou mécaniquement, avec les rivets ainsi fabriqués, des bandes de tôle dont la somme des épaisseurs est au moins égale à deux fois le diamètre des rivets.

Les rivets doivent être espacés de quatre diamètres au plus.

On introduit entre les deux bandes de tôle, et dans l'intervalle des deux derniers rivets d'un bout, une tranche dont le biseau forme un angle déterminé et sur laquelle on frappe, de manière à séparer les tôles ; on agit de même de proche en proche, dans chaque intervalle de rivets jusqu'à l'autre bout de la bande.

Deuxième mode d'essai. — On assemble, au moyen d'un des rivets à essayer, deux touches en acier qui se croisent. La rivure faite, on pose la touche supérieure sur les bords de la rainure d'une enclume spéciale, et on place sur la touche inférieure une chasse à fourche sur laquelle on frappe à coups de marteau.

Nota. — Il est essentiel que les touches en acier soient très résistantes.

CHAPITRE V.

ESSAIS DES TUYAUX ET TUBES.

Essais à la pression hydraulique.

Les règles relatives à ces essais sont données plus loin.

Essai de cintrage.

Dans cet essai, les tubes, remplis de résine, sont courbés à une flèche déterminée, ou enroulés sur un mandrin de diamètre donné. Il ne paraît pas possible d'unifier complètement les conditions d'exécution de cet essai, mais on devra en noter soigneusement toutes les circonstances.

Essai d'élargissement au mandrin.

En vue d'une unification ultérieure, il sera intéressant de spécifier toutes les circonstances de l'essai, notamment le profil exact du mandrin, le poids du marteau, le nombre de coups, l'élargissement obtenu, etc.

Essais d'écrasement et d'aplatissement.

Les tubes sont soumis à une épreuve d'écrasement et d'aplatissement au marteau qui a pour but de vérifier la malléabilité ou la raideur du métal, et en même temps la soudure pour les tubes obtenus par ce procédé.

Il n'est pas possible de préciser actuellement toutes les conditions d'exécution de cet essai, mais on devra les noter avec soin.

Essais de retournement.

L'épreuve de retournement est destinée à faire apprécier la malléabilité du métal.

Le tube est fendu suivant une génératrice, et le métal est ensuite replié sur lui-même, de façon à ce que la surface intérieure primitive devienne la surface extérieure du nouveau tube.

Cet essai, purement comparatif, ne paraît pas appeler d'unification

Essais de rabattement de la collerette.

L'épreuve de rabattement de la collerette effectuée sur les tubes en fer, en acier, en laiton ou en cuivre, est destinée à faire apprécier la malléabilité du métal.

Pour les tubes de chaudière, en fer et en laiton, cette épreuve est exécutée à la main sur le bord d'une enclume et à petits coups de marteau ; ce mode opératoire ne paraît pas appeler d'autre unification que la fixation du diamètre des collerettes en rapport avec les épaisseurs et les diamètres des tubes.

Pour les tubes à fumée en métal doux et les tuyaux en cuivre de toute nature, il est préférable de fixer pour cette épreuve des conditions d'exécution qui la rendent indépendante de l'habileté de l'opérateur. La collerette du diamètre exigé doit être obtenue en deux opérations seulement, au moyen de deux mandrins de formes appropriées qu'on enfonce successivement à coups de marteau.

CHAPITRE VI

ESSAIS A LA PRESSION HYDRAULIQUE.

Épreuves des appareils à vapeur.

1° Tout appareil à éprouver doit être entièrement rempli d'eau.

2° Il importe que la pression y soit produite progressivement et sans à-coup.

3° Le manomètre doit accuser, sans risque d'erreur, la pression qui s'exerce dans l'appareil même.

4° Les joints nécessaires pour l'essai doivent avoir été préparés selon les règles et de manière à ne pas fuir.

5° Il faut que les surfaces de l'appareil soient mises entièrement à nu, afin d'en rendre toutes les parties accessibles aux constatations ci-après, qui sont essentielles à l'opération.

Ces constatations sont de deux sortes :

(*a*) Les unes consistent à examiner l'état des assemblages et des surfaces métalliques. Pour les surfaces extérieures, cet examen se fait pendant l'essai hydraulique, dont on maintient la pression autant qu'il est nécessaire. L'examen des surfaces et pièces intérieures doit avoir lieu, si possible, avant et après l'essai.

(*b*) Les autres constatations sont relatives aux déformations que la pression fait subir à l'appareil. Il importe de reconnaître, d'une part, si

les déformations temporaires dues à la pression d'épreuve sont suffisamment petites, symétriques et bien réparties, et, d'autre part, si l'appareil revient convenablement à ses cotes primitives une fois la pression disparue. Si, pour ce double objet, l'on ne peut recourir aux procédés de mesure, précis au centième de millimètre près, qui ont été employés dans certaines expériences, il faut du moins faire comparativement avant, pendant et après l'essai hydraulique, sur des emplacements bien repérés, une série de mesures soigneusement notées ou, ce qui vaut mieux, matérialisées par des gabarits. Il importe notamment de vérifier le bombement des fonds plats ou peu bombés.

Il est, d'ailleurs, à souhaiter que les méthodes précises se répandent chez les constructeurs et dans les laboratoires d'essais, comme susceptibles d'amener d'utiles progrès dans l'art de la construction.

Essais des tuyaux, tubes, obus, etc.

La pression hydraulique fournit un contrôle utile de la résistance de certaines pièces, telles que les tuyaux, les tubes, les obus, etc.

Essais de flexion des plaques planes et embouties.

La pression hydraulique a été utilisée pour d'intéressantes recherches sur les déformations élastiques des métaux ; il est à souhaiter que des expériences précises soient continuées, notamment sur la flexion des plaques minces pressées sur une de leurs faces, particulièrement dans la période des déformations élastiques et avec des conditions d'assujettissement périphérique aussi voisines que possible soit de l'encastrement théorique, soit de la simple pose.

Enfin, il serait intéressant, pour apprécier les qualités des tôles, et notamment de celles destinées à la chaudronnerie, de soumettre des plaques prélevées sur ces tôles à des expériences de bombement par la pression hydraulique. Une semblable méthode n'exigerait que des appareils simples : le découpage de l'échantillon n'aurait aucune influence sur le résultat de l'expérience, et les propriétés qui seraient mises en évidence correspondraient bien à la manière dont la tôle aurait à travailler dans beaucoup d'applications.

Nota. — Les publications de la Commission des méthodes d'essai on été mises en vente à Paris, chez Rothschild. M. Baclé a donné un intéressant résumé des travaux de la Commission dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, en janvier 1896 (p. 61).

BULLETIN

RÉSUMÉ STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA FRANCE PENDANT LES ANNÉES 1870 A 1894,

Par M. SOL, Chef de bureau au Ministère des Travaux publics.

(*Suite.*)

III. — Métaux autres que le fer.

1° PLOMB ET ARGENT.

ANNÉES	MINERAIS — GALÈNE ARGENTIFÈRE — Production	MINERAIS — GALÈNE ARGENTIFÈRE — Prix moyen de la tonne	MINERAIS — EXPORTATION des minerais (**)	MINERAIS — IMPORTATION des minerais (**)	MÉTAUX — PLOMB (*) — Production	MÉTAUX — PLOMB (*) — Prix moyen de la tonne	MÉTAUX — ARGENT (*) — Production	MÉTAUX — ARGENT (*) — Prix moyen du kilog.	MÉTAUX — EXPORTATION du plomb (**)	MÉTAUX — IMPORTATION du plomb (**)	MÉTAUX — CONSOMMATION (***)
	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	francs	kilogr.	francs	tonnes	tonnes	tonnes
1870...	9.041	276	190	6.168	7.600	455	37.042	220	14.619	39.743	35.7
1871...	7.889	310	2.711	5.764	5.300	460	28.382	220	9.377	34.284	30.2
1872...	10.174	285	1.658	8.804	5.200	500	34.454	220	8.147	38.736	35.4
1873...	9.865	314	2.582	12.086	7.000	538	32.591	218	6.613	33.847	34.2
1874...	10.445	321	2.848	12.631	6.900	530	48.914	208	8.241	43.010	41.0
1875...	8.728	373	3.595	12.495	6.700	517	49.735	197	6.079	40.284	40.9
1876...	9.330	323	3.859	14.649	6.767	524	38.229	198	13.665	46.987	40.0
1877...	10.962	297	4.753	21.435	8.278	492	37.906	195	10.520	47.494	45.9
1878...	10.070	256	5.765	16.430	9.610	374	29.070	192	9.362	52.437	52.6
1879...	11.517	246	6.170	13.429	8.947	378	36.626	191	7.861	54.734	55.8
1880...	13.900	231	8.048	13.157	6.343	371	40.371	189	6.489	51.126	50.
1881...	10.796	269	8.236	11.380	7.000	367	54.718	188	7.507	59.635	59.
	(****)	(****)									
1882...	13.778	243	10.142	10.839	8.076	325	66.940	186	5.301	65.369	68.
1883...	14.343	254	13.111	13.113	7.770	284	48.491	184	5.629	69.038	71.
1884...	11.657	237	10.643	7.693	6.293	265	52.680	184	4.939	57.536	58.
1885...	11.044	234	10.554	9.368	4.806	262	50.828	170	5.890	57.096	56.
1886...	14.672	208	3.563	3.533	3.874	302	46.789	160	14.367	61.681	51.
1887...	17.436	206	6.682	2.630	5.939	300	54.314	160	10.857	63.338	58.
1888...	19.419	217	6.678	2.429	6.406	309	49.396	160	8.850	54.001	51.
1889...	21.306	208	12.601	3.975	5.305	302	80.942	160	10.569	61.249	55.
1890...	25.787	205	12.879	2.126	4.544	339	71.117	160	9.895	67.754	62.
1891...	25.897	183	13.280	3.893	6.680	312	71.303	160	10.957	74.748	70.
1892...	21.694	156	10.823	7.281	8.776	290	103.247	145	10.057	73.045	71.
1893...	23.492	110	14.032	5.261	8.119	249	98.077	130	9.243	77.679	76.
1894...	29.070	82	11.868	5.825	8.696	208	96.955	110	8.133	84.674	83.
	(*****)	(*****)									

(*) Pour le plomb, il s'agit du métal tiré des minerais, tant indigènes qu'étrangers, traités dans les usi... la production de l'argent, au contraire, contient à la fois l'argent tiré des minerais traités et celui qui a... extrait des plombs d'œuvre importés de l'Etranger.

(**) Commerce spécial. Galène argentifère ; plomb brut argentifère et non argentifère, plomb laminé ou a... débris.

(***) Consommation déduite de la production et du commerce extérieur et sans tenir compte des stocks.

(****) A partir de 1881, les minerais de plomb impropres à la fusion ne figurent plus dans la produc... totale ; de là proviennent, pour 1881, une diminution de l'extraction et une élévation du prix des mine... qui ne sont qu'apprrantes.

(*****) Depuis 1891 la production des minerais de plomb comprend une certaine quantité de fer plom... extrait dans l'Aude. Cette extraction, qui a atteint en 1894 le chiffre relativement élevé de 5.226 tonn... influé dans une certaine mesure par son bas prix (8 fr. 63) sur la diminution du prix moyen général.

Nota. — Il y a lieu de noter, comme extraite des minerais de plomb indigènes, une production de lith... qui s'est maintenue pendant toute la période 1870-1894, avec des variations peu importantes. La produ... annuelle moyenne peut être évaluée à une centaine de tonnes.

2° ZINC.

ANNÉES	MINERAIS — BLONDE ET CALAMINE — Production	MINERAIS — BLONDE ET CALAMINE — Prix moyen de la tonne	MINERAIS — EXPORTATION des minerais (*)	MINERAIS — IMPORTATION des minerais (*)	MÉTAUX — ZINC BRUT — Production	MÉTAUX — ZINC BRUT — Prix moyen de la tonne	MÉTAUX — EXPORTATION du zinc (*)	MÉTAUX — IMPORTATION du zinc (*)	CONSOMMATION du zinc
	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes
1870...	1.547	46	2.497	5.800	3.498	625	1.586	29.100	30.942
1871...	1.417	53	1.524	3.549	3.520	603	1.392	21.727	23.855
1872...	1.451	70	1.944	17.327	8.945	682	4.131	24.924	28.338
1873...	1.279	77	3.950	25.370	12.027	693	5.784	28.480	26.323
1874...	3.868	75	1.743	23.720	12.783	673	3.739	24.469	33.513
1875...	4.088	73	2.786	25.213	13.739	695	5.227	26.663	35.175
1876...	8.018	68	5.968	28.046	13.696	579	3.894	29.247	39.658
1877...	7.846	58	6.820	32.601	11.881	476	3.140	33.973	42.714
1878...	7.550	37	2.906	31.094	13.848	427	5.020	32.517	41.345
1879...	7.883	36	1.722	38.451	14.794	422	3.816	38.931	49.909
1880...	12.139	32	2.394	38.299	16.232	447	4.754	31.245	42.723
1881...	12.943	30	2.083	32.288	18.500	401	3.595	43.359	56.273
1882...	8.372	36	5.419	33.392	18.325	400	4.551	34.167	48.141
1883...	5.491	37	6.721	36.862	15.915	396	3.578	39.398	51.735
1884...	3.120	29	4.587	30.193	16.884	391	3.023	39.740	53.601
1885...	5.078	64	4.807	38.730	15.108	381	3.237	33.214	45.085
1886...	11.103	61	7.961	32.560	16.192	364	2.566	33.547	47.113
1887...	13.321	52	10.586	31.613	16.712	363	4.905	35.527	47.394
1888...	20.702	72	14.492	32.556	16.960	406	5.146	27.643	39.457
1889...	34.290	105	20.468	35.582	17.982	470	5.606	27.786	40.162
1890...	47.540	100	24.050	39.473	19.372	510	5.456	29.356	43.572
1891...	55.785	116	31.662	36.737	20.596	502	5.177	31.604	47.023
1892...	67.069	84	32.023	41.031	20.609	484	7.034	30.862	44.437
1893...	74.398	71	47.426	34.221	22.449	411	8.819	35.200	48.800
1894...	76.949	53	58.281	31.955	23.387	388	7.282	35.368	51.473

(*) Commerce spécial. Les importations et exportations métalliques se composent de zinc en masses brutes, saumons, barres, feuilles de zinc, limailles et débris.

3° ANTIMOINE.

ANNÉES	MINERAIS				MÉTAUX					
	ANTIMOINE SULFURÉ ou oxydé		EXPORTATION des minerais (*)	IMPORTATION des minerais (*)	RÉGULE D'ANTIMOINE		SULFURES et oxydes purs d'antimoine — Production	EXPORTATION de l'antimoine (*)	IMPORTATION de l'antimoine (*)	CONSOMMATION de l'antimoine (**)
	Production	Prix moyen de la tonne			Production	Prix moyen de la tonne				
	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1870....	65	331	»	31	?	?	?	2	140	?
1871....	113	224	»	14	?	?	?	»	150	?
1872....	132	281	152	3	?	?	?	1	125	?
1873....	79	291	1	3	?	?	?	2	192	?
1874....	177	234	96	6	?	?	?	9	220	?
1875....	223	258	134	12	?	?	?	2	290	?
1876....	395	190	104	17	54	1.800	17	23	253	301
1877....	467	203	208	122	42	1.500	41	7	224	300
1878....	753	150	716	390	47	1.543	36	4	308	387
1879....	642	193	330	283	59	1.507	26	7	233	311
1880....	1.214	201	833	547	110	1.543	37	11	243	379
1881....	1.632	188	264	245	119	1.400	69	7	286	467
1882....	1.073	180	667	668	160	1.200	17	17	244	404
1883....	933	163	557	266	47	1.100	40	3	542	626
1884....	657	143	487	218	74	1.000	31	17	894	982
1885....	536	143	631	304	121	1.000	2	7	540	656
1886....	247	180	251	171	121	900	50	4	541	708
1887....	341	128	145	120	157	930	13	13	788	945
1888....	789	139	397	114	168	1.025	72	19	474	695
1889....	2.229	184	1.923	70	284	1.630	32	33	248	531
1890....	4.962	165	1.666	196	558	1.400	285	140	308	1.011
1891....	5.316	126	1.153	208	496	1.100	384	78	195	997
1892....	5.103	133	1.333	175	713	1.000	41	90	66	730
1893....	7.171	91	492	123	782	960	86	165	133	836
1894....	6.144	66	1.173	153	637	800	375	140	147	1.019

(*) Commerce spécial. Parmi les métaux importés et exportés figurent des sulfures et oxydes purs.
(**) Régules, oxydes et sulfures.

4° ALUMINIUM.

ANNÉES	MINERAI (BAUXITE)		MÉTAL			
	Production	Prix moyen de la tonne	Production	Prix moyen du kilogramme	Exportation de l'aluminium (*)	Importation de l'aluminium (*)
	tonnes	francs	kilogrammes	francs	kilogrammes	kilogrammes
1870	769	15	1.040	75		
1871	580	15	567	100		
1872	1.600	15	1.790	100		
1873	650	15	1.068	100		
1874	1.366	12	1.430	100		
1875	1.450	12	920	100		
1876	2.000	16	900	100		
1877	3.600	18	1.710	100		
1878	4.160	19	1.550	100		
1879	6.800	19	1.766	100		
1880	5.685	18	1.147	100		
1881	12.060	10	2.583	100		
1882	10.030	14	2.349	100	1.300	»
1883	15.214	17	2.290	100	1.571	»
1884	23.575	13	2.227	100	2.212	»
1885	19.108	13	1.982	100	1.414	»
1886	24.772	9	2.430	100	152	»
1887	20.515	8	2.042	100	532	»
1888	19.160	10	4.155	93	1.807	»
1889	18.670	10	14.840	53	762	»
1890	18.670	10	37.000	18	187	109
1891	22.260	9	36.000	12	130	593
1892	23.298	8	75.000	8	42.287	2.007
1893	33.923	8	137.000	7	33.367	1.524
1894	26.032	6	270.000	5	30.787	2.958

(*) Commerce spécial.

5° CUIVRE ET NICKEL.

(*Métaux.*) (*)

ANNÉES	CUIVRE — PRODUCTION	CUIVRE — PRIX MOYEN de la tonne	EXPORTATION du cuivre (**)	IMPORTATION du cuivre (**)	CONSOMMATION du cuivre	NICKEL — PRODUCTION	NICKEL — PRIX MOYEN de la tonne	EXPORTATION du nickel (**)	IMPORTATION du nickel (**)	CONSOMMATION du nickel (**)
	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes
1870	?	?	5.553	20.274	?	»	»	56	86	30
1871	?	?	4.850	14.682	?	»	»	54	79	25
1872	?	?	4.662	15.372	?	»	»	35	171	136
1873	?	?	4.669	21.077	?	»	»	31	138	107
1874	?	?	6.085	24.729	?	»	»	21	161	140
1875	?	?	4.654	17.023	?	»	»	44	188	144
1876	6.443	2.276	6.172	30.138	30.409	30	10.000	28	115	87
1877	7.120	2.211	4.589	24.224	26.755	30	10.000	18	169	151
1878	8.400	1.981	7.540	25.632	26.492	30	10.000	13	136	153
1879	3.469	1.708	3.750	24.933	24.652	30	10.000	32	143	141
1880	3.366	1.795	4.935	35.521	23.952	30	10.000	49	178	159
1881	4.125	1.871	4.203	29.044	28.876	80	8.438	95	174	159
1882	4.077	1.744	2.603	26.105	27.579	30	10.000	82	154	159
1883	3.290	1.511	5.336	31.402	29.356	30	10.000	41	154	102
1884	3.830	1.434	6.060	23.873	21.663	30	10.000	77	138	127
1885	3.577	1.183	5.842	34.131	31.866	30	6.000	90	582	835
1886	3.519	1.101	5.051	23.226	21.674	30	6.000	18	162	174
1887	2.083	1.000	5.851	28.705	24.937	30	6.000	12	311	329
1888	2.184	1.500	6.950	48.158	44.002	30	6.000	21	246	255
1889	1.632	1.553	13.684	15.107	3.048	30	7.000	21	450	459
1890	2.306	1.564	5.060	29.870	27.116	330	5.180	29	511	512
1891	2.125	1.405	6.598	33.935	28.832	330	5.045	77	582	835
1892	2.163	1.310	8.526	27.595	21.932	330	5.000	90	601	841
1893	6.587	1.144	7.601	29.880	28.866	1.244	4.969	210	804	921
1894	6.415	1.053	6.634	30.419	30.200	2.045	3.925	319	2.703	3.628
						1.345	4.005	191	1.866	3.720
								882	423	1.086

(**) Commerce spécial. Produits bruts, affinés, laminés; alliages.

(*) Il n'y a pas actuellement de mines de cuivre et de nickel exploitées en France.

(*La suite à une prochaine livraison.*)

LES TRAPPES
D'EXPANSION DE VAPEUR
DES FOURNEAUX DE CHAUDIÈRES

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

ECOLE NATIONALE DES MINES Entrée BIBLIOTHÈQUE 1 bis 1 2

Dans une étude, insérée aux *Annales des Mines* en novembre 1894 (*), sur quelques mesures propres à augmenter la sécurité de l'emploi des chaudières à petits éléments, l'une de ces mesures a été seulement indiquée dans son principe; aucun détail n'a été donné sur son application. C'est celle ayant pour objet, en cas de rupture de tube bouilleur, d'assurer au flux de vapeur une issue facile et inoffensive. La question avait paru trop neuve pour qu'il fût sage de préjuger par une description, même donnée à titre d'exemple, les solutions applicables.

Depuis lors, à Paris, deux des dispositifs installés pour cet objet ont été mis à l'épreuve par des explosions de tubes bouilleurs, et ils paraissent, autant qu'on en peut juger, avoir bien fonctionné. Il importe de faire connaître ces faits encourageants : pour ceux qui datent de janvier 1895, les détails qui vont suivre sont empruntés aux rapports de M. l'ingénieur des Mines Pellé ; pour ceux de novembre 1895, janvier et février 1896, les renseignements sont dus à l'obligeance de M. l'ingénieur des Mines Bochet.

(*) 9e série, t. VI, p. 534 et suiv.

Les dispositifs dont il va être question étaient tous deux appliqués à des générateurs Belleville, dans des usines d'électricité. L'un d'eux avait été étudié par MM. Delaunay-Belleville et Cie, et constitue maintenant un des accessoires habituels des appareils qu'ils construisent ; l'autre avait été combiné par la Compagnie continentale Edison, qui en a fait munir les chaudières Belleville de ses stations.

I. — Cas de fonctionnement des trappes d'expansion de MM. Delaunay-Belleville et Cie.

Les trappes d'expansion de MM. Delaunay-Belleville sont placées à la partie supérieure des fourneaux des générateurs. Les *fig.* 1 et 2, Pl. XIII, en représentent les dispositions.

Dans l'usine où, pour la première fois, ces trappes ont eu à fonctionner, chaque générateur est du type B — 7, composé de 7 éléments, dont chacun comprend 16 tubes de 10 centimètres de diamètre ; il offre $2^{m2},84$ de surface de grille, 80 mètres carrés environ de surface de chauffe ; le timbre est de 15 kilogrammes. Les trappes d'expansion sont, par chaudière, au nombre de deux, placées bout à bout ; sur le plan, *fig.* 2, l'une d'elles a été supposée enlevée pour laisser voir la gouttière AAAA, garnie de sable, formant l'encadrement sur lequel elle repose ; l'autre, M, a été figurée en place. Chaque trappe pèse $9^{kg},5$ et offre une surface horizontale de $97 \times 30 = 2910$ centimètres carrés ; son poids est donc équilibré par une pression effective de 1/300 de kilogramme par centimètre carré, et, pour commencer à la soulever, il suffirait que cette pression effective s'exerçât immédiatement au-dessous d'elle, s'il n'y avait, en outre, à tenir compte de la résistance opposée par le frottement du sable formant joint.

La section totale des deux orifices de la paroi supérieure du fourneau est $0^{m},90 \times 0^{m},24 \times 2 = 0^{m2},43$; quant à la section d'écoulement offerte à la vapeur par le soulèvement des trappes, elle dépend naturellement de la valeur de ce soulèvement : il en est de ces trappes comme des soupapes de sûreté.

Le 2 janvier 1895, le huitième tube, à partir du bas, de l'élément situé le plus à droite, s'ouvrit en dehors de la soudure, un peu à gauche de la génératrice inférieure, par suite d'une surchauffe locale. La déchirure avait 35 centimètres de longueur, avec 8 centimètres de bâillement maximum. « Les portes de la boîte à tubes, bien fermées par une barre transversale, ne s'ouvrirent pas, rapporte M. l'ingénieur des Mines Pellé ; les portes du foyer restèrent également fermées. Les trappes d'expansion fonctionnèrent bien, et ce fut par elles que la vapeur s'échappa. Les portes du cendrier étaient ouvertes à ce moment ; il en sortit un peu de flammes, de la fumée et de la suie ; » mais cette bouffée fut assez légère pour que le chauffeur soit venu fermer ces portes à l'aide de sa pelle.

Comme, d'ailleurs, le clapet d'arrêt de vapeur de la chaudière se ferma, les autres générateurs de la batterie ne se ressentirent pas de l'explosion, qui n'eut de la sorte aucune conséquence fâcheuse.

Le 26 du même mois, une rupture se produisit à une autre chaudière de cette batterie, mais encore à l'élément extrême de droite. Ce fut le tube de droite de la troisième rangée, à partir du bas, qui s'ouvrit, suivant sa génératrice inférieure, sur 28 centimètres de longueur, avec 8 centimètres de bâillement maximum, par suite d'une surchauffe qui s'était étendue au moins à la partie inférieure des deux éléments de droite. « Les fermetures des portes de boîte à tubes et de foyer résistèrent, écrit M. Pellé, et les deux trappes d'expansion se soulevèrent pour donner passage à la vapeur. Les portes du cendrier

étaient à moitié ouvertes, et maintenues dans cette position par deux morceaux de charbon ; elles ne furent pas déplacées par l'explosion ; quelques flammes et de la suie sortirent par elles en même temps que par les fissures des portes du foyer ; le chauffeur... trébucha en se sauvant et tomba à terre sans se faire aucun mal. »

Une remarque est à faire au sujet de la manière dont les trappes d'expansion ont fonctionné dans cette occasion. Elles ont failli tomber dans la chaufferie, parce qu'elles se sont dégagées, en se déplaçant suivant leur longueur, de leurs étriers d'arrêt CC (Pl. XIII, *fig.* 1 et 2), qui n'étaient pas complétés par l'addition des demi-étriers terminaux DD. Il importe que les dispositifs employés rendent impossible le départ des trappes, qui pourraient causer à leur tour un accident, si elles tombaient sur la tête des chauffeurs. C'est en vue de prévenir ce danger que MM. Delaunay-Belleville, dans leurs trappes les plus récentes, ont ajouté les pièces D.

Un an plus tard, le 12 janvier 1896, une nouvelle rupture de tube s'est produite à la même usine. Les trappes n'ont pas fonctionné ; mais le registre était à ce moment ouvert en grand, de sorte que le flux de vapeur a trouvé par cette voie un libre écoulement qui rendait superflu le jeu des trappes, et qui explique en même temps qu'elles soient restées en place.

Il en a été de même, le même jour, dans une autre usine d'éclairage électrique, où un tube de générateur Belleville s'est rompu, sans non plus causer d'accident de personne : le registre, avarié, était calé dans la position de pleine ouverture ; la gouttière, au pourtour de la trappe d'expansion, a été néanmoins dégarnie de son sable ; mais, comme la trappe elle-même a été retrouvée en place, il est probable qu'elle n'a pas été notablement soulevée, ce qui s'explique sans peine et était sans inconvénient.

Mais cette usine ne devait pas tarder à constater à son tour le bon fonctionnement du nouveau dispositif de sûreté. Le surlendemain, 14 janvier, une rupture de tube vaporisateur s'y est produite derechef. Cette fois, la trappe s'est franchement soulevée, et, malgré l'ouverture d'une des portes de foyer, qui n'était pas autoclave, et dont le système de fermeture était avarié, les deux ouvriers présents dans la chaufferie, d'ailleurs vaste et de dégagements faciles, se sont sauvés sans brûlures.

II. — Cas de fonctionnement de la trappe d'expansion de la Compagnie continentale Edison.

Les trappes qui viennent d'être décrites déversent au-dessus des fourneaux, mais dans la chaufferie même, les bouffées de vapeur et de gaz chauds auxquelles elles livrent passage. Assurément, il vaut beaucoup mieux que le flux brûlant prenne issue de la sorte que s'il frappait directement le chauffeur ; cependant, il est nécessaire, pour que cette disposition n'entraîne pas d'inconvénients ou peut-être même de dangers, que le local des générateurs soit suffisamment vaste et largement aéré. Sinon, il importerait de canaliser le flux, en le dirigeant, par exemple, dans les carneaux de fumée de la batterie, par un chemin court et de large section. C'est dans cette vue qu'a été étudié le dispositif de la Compagnie continentale Edison. Les *fig.* 3 et 4, Pl. XIII, représentent l'application de ce dispositif à un générateur Belleville du type B — 9, de 4 mètres carrés de surface de grille et 98 mètres carrés de surface de chauffe, timbré à 15 kilogrammes. La trappe est constituée par un couvercle en tôle M, articulé à charnière, et couvrant un orifice de $0^m,85 \times 0^m,20$. Ce clapet est coiffé d'un coffrage en tôle PQRS, fixé au moyen de cornières sur le fourneau du générateur, et communiquant avec le carneau de fumée par une ouver-

ture permanente VV, qui offre $0^m,875 \times 0^m,20$ de section libre. Le coffrage est profilé de manière à présenter partout une section au moins égale. La trappe, ainsi disposée, n'a pas besoin de joint étanche, une très légère dérivation du tirage par l'interstice de son pourtour étant sans inconvénient; aussi s'est-on dispensé de la faire porter dans une gouttière à sable. La pression nécessaire pour soulever un pareil clapet dépend de son poids et de la paresse des charnières.

Ce dispositif a été pour la première fois dans le cas de fonctionner le 6 novembre 1895. Au septième élément, à partir de la gauche, d'une des chaudières B — 9 auxquelles il a été appliqué, le septième tube à partir du bas s'est ouvert sur environ 30 centimètres de longueur, avec 10 centimètres environ de bâillement maximum. Le générateur était en plein fonctionnement. Il est à peine sorti une grosse bouffée de vapeur dans la chaufferie.

Puis, les 1er et 7 février 1896, nouvelles ruptures de tubes à ces chaudières: la première fois sur 28 centimètres de longueur avec 6 centimètres de bâillement, la seconde fois sur 25 centimètres avec un bâillement de $4^{cm},5$. « Dans les deux cas, dit M. Bochet, le générateur était en pleine marche, les fermetures de portes de foyer et de boites à tubes ont résisté, et il n'est sorti par les portes de cendrier, qui ne sont pas à fermeture automatique, que de faibles bouffées de vapeur ou de flamme. »

A la vérité, avec ce type de trappes, on ne peut dire si ces appareils ont fonctionné ou non, puisque leur soulèvement, à l'intérieur du coffrage qui les recouvre, ne laisse aucune trace après coup. Les générateurs étant en pleine marche, il est possible que tout ou partie du flux de vapeur se soit écoulé à la faveur de la large ouverture du registre ; mais, en ce cas, l'innocuité des trois accidents montre qu'il eût suffi, si le registre avait été étranglé, que les trappes offrissent à l'évacuation de la vapeur des facilités

équivalentes à sa pleine ouverture : résultat que semblent pouvoir procurer, au moins d'une manière approchée, des trappes suffisamment larges et judicieusement disposées.

III. — Observations générales.

Il est inutile de s'appesantir sur la comparaison des deux systèmes précédents, dont les avantages et les inconvénients respectifs sont faciles à saisir. A choisir entre les deux, la préférence dépendrait des conditions locales de l'installation, notamment de l'aération de la chaufferie et des dispositions des carneaux de fumée. Les solutions applicables peuvent, d'ailleurs, et doivent varier avec les formes des chaudières. La Compagnie Babcock et Wilcox, par exemple, à la suite d'une étude récente de la question, a décidé de placer dorénavant des trappes d'expansion, à droite et à gauche des corps supérieurs de ses générateurs, dans la partie des maçonneries latérales où étaient autrefois ménagés de simples ouvreaux de ramonage. La *fig.* 5, Pl. XIII, indique cet emplacement, où, la trappe d'expansion reposant sur un cadre incliné, des précautions particulièrement attentives devront être prises pour prévenir sa chute dans la chaufferie.

Il ne faut pas oublier que l'installation des dispositifs de ce genre n'est que la moitié d'un programme, dont l'autre moitié consiste à barricader solidement les façades des générateurs (*). Pour les portes de boites à tubes, une des meilleures solutions paraît consister à assurer leur fermeture par l'addition d'une barre horizontale, solidement reliée, à droite et à gauche, à l'ossature métallique du fourneau. Pour les ouvertures de chargement des foyers, lorsqu'il est fait usage de foyers ordinaires à

(*) Il importe aussi que la construction des fourneaux ne comporte nulle part de pièces (briques ou autres) susceptibles d'être enlevées et projetées dans la chaufferie.

grilles, la disposition autoclave des portes s'ouvrant vers l'intérieur est assurément à recommander. On a donné, dans l'étude rappelée au début de ces notes, le dessin de la porte de ce genre maintenant employée par MM. Delaunay-Belleville; on trouvera ici, Pl. XIII, *fig.* 6 et 7, et Pl. XIV, *fig.* 1 et 2, les dispositions adoptées par M. Roser et par la Compagnie Babcock et Wilcox.

Ces portes sont à fermeture autoclave, mais non automatique : un nouveau perfectionnement doit consister, suivant une remarque de M. Bochet, à les disposer de manière que si, lorsqu'elles sont ouvertes, une pression se produit à l'intérieur du fourneau, elles tendent à se fermer automatiquement et soient toujours libres de le faire. On parera peut-être ainsi au cas où, une rupture de tube survenant pendant le chargement du foyer, le chauffeur est exposé au danger le plus grave, comme l'a malheureusement prouvé un accident mortel survenu, lui aussi, à Paris, le 12 janvier dernier.

Enfin, quant aux cendriers, le mieux serait évidemment, ainsi qu'il a été dit dans la première étude, de ne pas leur laisser d'ouverture permanente dans la chaufferie; toutefois, les constructeurs espèrent réaliser, sur ce point, la sécurité nécessaire, en les munissant de portes oscillantes ou de trappes de sûreté spéciales, articulées autour d'un axe horizontal, et destinées à se fermer sous le moindre courant de gaz qui se ferait sentir, à l'envers du courant d'air normal, de la grille vers la chaufferie. On a donné déjà, à cet égard, la solution de la maison Belleville ; les *fig.* 3 à 6, Pl. XIV, représentent celles auxquelles M. Roser et la Compagnie Babcock et Wilcox se sont arrêtés.

La pratique montrera si, pour les ouvertures de cendriers, ces dispositions suffisent.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES
SUR
L'ÉCHAUFFEMENT DE L'AIR
PARCOURANT UN TUYAU MAINTENU EXTÉRIEUREMENT A UNE TEMPÉRATURE DÉTERMINÉE

APPLICATION A L'ÉTUDE DE LA POSSIBILITÉ DE LA TRANSFORMATION DE LA LOCOMOTIVE EN MACHINE A CONDENSATION

Par M. CARCANAGUES, Ingénieur des mines,
Ingénieur principal de la traction de la Cie des ch. de fer P.-L.-M.

But des recherches. — Le bénéfice de la condensation de la vapeur d'échappement a été jusqu'ici réservé aux machines fixes et aux machines marines, en raison de l'impossibilité, au point de vue économique, de faire accompagner les machines montées sur roues de la masse d'eau nécessaire.

Cette difficulté n'existerait plus s'il était pratiquement possible d'employer comme réfrigérant l'air au lieu de l'eau.

Une locomotive qui serait munie d'un condenseur à air se trouverait dans le cas d'une machine de bateau qui trouve toujours à sa proximité l'eau nécessaire au fonctionnement de son condenseur. Il est clair que, si l'on reçoit la vapeur d'échappement d'une machine dans un espace traversé par un faisceau tubulaire dans lequel cir-

cule de l'air pris dans l'atmosphère ambiante, cette vapeur se refroidira de toute la chaleur emportée par l'air qui sortira échauffé du faisceau.

En multipliant le nombre des tubes et leur donnant une longueur suffisante, on devra arriver, ce n'est pas douteux, à refroidir à la température que l'on désirera (en restant, bien entendu, au-dessus de la température ambiante) toute la vapeur d'échappement d'une machine quelconque.

Une telle solution peut-elle être appliquée pratiquement aux machines locomotives? C'est le point que l'on s'est proposé d'examiner dans la présente note (*).

On se rend compte immédiatement qu'en raison de la très faible capacité calorifique de l'air, il en faudra un énorme volume pour ramener à l'état d'eau à 50 ou 60°, ou même à 100°, la vapeur d'échappement d'une machine aussi puissante qu'une locomotive.

Quelles dimensions se verra-t-on obligé de donner au faisceau tubulaire pour multiplier suffisamment la surface de contact de la vapeur avec les parois réfrigérantes?

Quelle force faudra-t-il mettre en jeu pour contraindre l'air à parcourir avec une vitesse suffisante ledit faisceau?

Tels sont les points qu'il convient d'examiner avant de se prononcer sur la possibilité ou l'impossibilité d'appliquer la condensation aux locomotives.

Il est clair qu'un calcul facile permettrait de répondre immédiatement à la première de ces deux questions si l'on connaissait la formule représentant la loi suivant laquelle se fait l'échauffement de l'air qui parcourt un

(*) On construit, sous le nom d'*aéro-condenseurs*, des condenseurs pour machines fixes, dans lesquels l'air est employé comme réfrigérant. L'air échauffé peut servir à la ventilation et au chauffage des ateliers, ou être utilisé pour le séchage.
(Voir Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, 1233).

tube métallique maintenu extérieurement à une température déterminée.

Cette loi ne nous étant pas connue, c'est à l'expérience directe que nous avons pensé qu'il convenait d'avoir recours pour y suppléer.

Nous avons donc fait passer, à différentes vitesses, de l'air pris dans l'atmosphère et, par suite, de température connue, dans des tubes métalliques de longueurs et de diamètres variés et portés extérieurement à différentes températures également connues, et nous avons mesuré la température de cet air à la sortie des tubes.

Avant de faire connaître les résultats obtenus, nous décrirons sommairement les appareils qui ont été installés aux ateliers de la Compagnie P.-L.-M., à Paris, pour ces expériences (Pl. XV).

Description des appareils d'expérience. — L'air, fourni par un ventilateur, était amené par une canalisation spéciale dans une boite en bois A munie d'une vanne V manœuvrée à la main et permettant d'en régler l'accès dans les appareils d'expérience.

De l'une des parois de cette boite partait un faisceau de cinq tubes en verre de $0^m,60$ de longueur et des cinq diamètres différents : 2, 4, 5, 7 1/2 et 10 centimètres mesurés à l'intérieur. Ces tubes de verre venaient se raccorder à des tubes de laiton, des mêmes diamètres intérieurs, traversant de part en part une caisse en tôle B remplie d'eau, qu'une arrivée de vapeur permettait de porter à telle température qu'on pouvait désirer, sans dépasser toutefois 100°. Enfin, ces tubes de laiton étaient à leur tour continués par de nouveaux tubes de verre, toujours des mêmes diamètres, rejetant l'air échauffé en dehors de la salle.

La longueur des tubes de laiton était de $1^m,500$, mais deux autres caisses semblables avaient été préparées,

comportant des tubes de 1 mètre et de 0m,500, de telle façon que les expériences portassent sur trois longueurs de tubes différentes.

La température de l'air avant son passage dans les tubes était donnée par le thermomètre *a*; celle de l'air échauffé se lisait sur les thermomètres *c* assujettis par des bouchons en caoutchouc dans des tubulures spéciales, et fixés de telle façon que leurs réservoirs fussent sensiblement au milieu du rayon supérieur des tubes, cette position ayant été reconnue, par des expériences préliminaires, comme donnant sensiblement la température moyenne de l'air, dont les couches les plus élevées étaient toujours plus chaudes que les autres.

La température de l'eau de la caisse B était donnée par deux thermomètres *b*; un agitateur à palettes avait pour fonction d'assurer l'uniformité de cette température dans toute la masse.

Quant à la vitesse de l'air dans les tubes, elle n'a pas été mesurée directement; on l'a calculée au moyen de la formule de d'Aubuisson (PÉCLET, *Traité de la chaleur*, liv. II, chap. V, 422) :

$$V = \sqrt{\frac{2gP}{1 + \frac{KL}{D}}},$$

formule qui donne la vitesse V, en mètres par seconde, de l'air qui parcourt un tube cylindrique, en fonction de la longueur L et du diamètre D de ce tube exprimés en mètres, en même temps que de la différence P (exprimée en mètres de hauteur d'air) des pressions dans le tube et à l'extérieur.

Pour l'application de cette formule à nos expériences, L et D étaient connus; quant à P, on le déduisait, par un calcul facile, de la pression de l'air dans la boîte A, donnée par un manomètre à eau *m*; enfin, K est un coeffi-

cient constant égal à 0,024, et *g* est l'intensité de la pesanteur = 9,8088.

J'ajouterai qu'afin d'éviter toute contraction de la veine d'air à l'entrée des tubes, ceux-ci étaient évasés comme le montre le dessin; cette précaution nous a permis de faire entrer dans la formule ci-dessus le véritable diamètre intérieur des tubes, et non une valeur correspondant à une section rétrécie de la veine.

Conduite des expériences. — Voici maintenant comment les expériences ont été conduites. Chacune d'elles a consisté :

1° A porter à 100° la température de l'eau contenue dans la caisse B, en même temps que l'on faisait circuler dans les tubes un courant d'air sous l'influence d'une pression déterminée qu'il était facile d'obtenir en ouvrant convenablement la vanne V;

2° Une fois le régime, tant des vitesses de l'air que de sa température dans les cinq tubes, bien établi, à fermer l'arrivée de la vapeur qui maintenait à 100° l'eau de la caisse B, et à lire dès lors, de dix en dix minutes :

1° La température initiale de l'air sur le thermomètre *a*;

2° Sa pression au-dessus de celle de l'atmosphère, sur le manomètre à eau *m*;

3° La température de l'eau (maintenue en agitation) de la caisse B, sur les thermomètres *b*;

4° La température de l'air échauffé sur chacun des thermomètres *c*.

Le nombre des expériences a été de vingt-deux.

Huit ont été faites avec la caisse à eau chaude de 1m,500, sous des charges de 76, 66, 56, 46, 36, 26, 16 et 6 millimètres d'eau, l'air parcourant une longueur de tubes de 3 mètres, dont moitié soumise à l'échauffement;

Sept ont été faites avec la caisse à eau chaude de

1 mètre sous des charges de 66, 56, 46, 36, 26, 16 et 6 millimètres d'eau;

Sept autres, enfin, ont été faites avec la caisse à eau chaude de $0^m,500$ sous des charges de 66, 56, 46, 36, 26, 16 et 6 millimètres d'eau.

Résultats des expériences. — Les résultats des lectures pour chaque expérience ont été consignés sur des tableaux dont je donne ci-après un spécimen :

N° 5. — Longueur de tube soumise a l'échauffement : $1^m,500$.

HEURES	TEMPÉRATURE INITIALE de l'air θ	CHARGE en millimètres d'eau	TEMPÉRATURE de l'eau chaude T	TEMPÉRATURE DE L'AIR A LA SORTIE t ÉCHAUFFEMENT CORRESPONDANT $t-\theta$									
				$D=0^m,02$		$D=0^m,04$		$D=0^m,05$		$D=0^m,075$		$D=0^m,10$	
				t	$t-\theta$	t	$t-\theta$	t	$t-\theta$	t	$t-\theta$	t	$t-\theta$
$1^h,30$	20,3	36 »	100 »	72,2	51,9	51 »	30,7	43,5	23,2	34,2	13,9	30,2	9,9
$1^h,40$	20,2	35,6	96,9	70,6	50,4	50,3	30,1	43,3	23,1	34,2	14 »	30,1	9,9
$1^h,50$	20,3	36,1	93,8	68,4	48,1	49 »	28,7	42,4	22,1	33,5	13,2	29,8	9,5
2^h »	20,3	37 »	90,8	66,7	46,4	47,8	27,5	41,3	21 »	33 »	12,7	29,4	9,1
$2^h,10$	20,6	37 »	87,9	64,5	43,9	46,7	26,1	40,5	19,9	32,4	11,8	29,3	8,7
$2^h,20$	20,7	36 »	85,2	63,1	42,4	46 »	25,3	40 »	19,3	32,2	11,5	28,7	8 »
$2^h,30$	20,8	36 »	82,9	61,7	40,9	45 »	24,2	39,5	18,7	32 »	11,2	28,3	7,5
$2^h,40$	20,8	35,9	80,4	60,2	39,4	44,1	23,3	38,5	17,7	31,4	10,6	28,3	7,5
$2^h,50$	20,9	35,3	78,3	58,7	37,8	43,2	22,3	37,8	16,9	31,1	10,2	28 »	7,1
3^h »	21 »	35,1	76,2	57,3	36,3	42,5	21,5	37,5	16,5	31 »	10 »	27,8	6,8
$3^h,10$	21 »	36,5	74,1	56 »	35 »	41,6	20,6	36,8	15,8	30,4	9,4	27,7	6,7
$3^h,20$	21,1	36,2	72,1	54,6	33,5	40,9	19,8	36,4	15,3	30,1	9 »	27,5	6,4
$3^h,30$	21,1	35,9	70,3	53,5	32,4	40,1	19 »	35,7	14,6	29,9	8,8	27,3	6,2
$3^h,40$	21,2	35 »	68,5	52,2	31 »	39,7	18,5	35,2	14 »	29,3	8,1	27,1	5,9
$3^h,50$	21,2	36,4	66,8	51,1	29,9	38,8	17,6	34,8	13,6	29,3	8,1	26,9	5,7
4^h »	21,2	36,1	65,2	50 »	28,8	38,2	17 »	34,3	13,1	29 »	7,8	26,8	5,6
$4^h,10$	21,3	37,1	63,5	48,9	27,6	37,4	16,1	33,8	12,6	28,7	7,4	26,5	5,2
$4^h,20$	21,3	35 »	62 »	48 »	26,7	37,1	15,8	33,5	12,2	28,6	7,3	26,5	5,2

Les vingt-deux tableaux établis sur le modèle du spécimen qui précède eussent été incommodes à consulter; il y entre, d'ailleurs, un élément appelé à disparaître, c'est le temps; en outre, les chiffres fournis par les lectures avaient besoin de corrections, tant en raison des erreurs inévitables d'observation que du manque de constance de la température et de la pression initiales de l'air.

Voici comment ces corrections ont été faites :

Il a d'abord été établi vingt-deux nouveaux tableaux donnant les valeurs de l'échauffement de l'air (élément $t-\theta$ du tableau spécimen précédent) correspondant à des valeurs de T (température de l'eau chaude) variant de 5° en 5° depuis 100° jusqu'à 65°. Ces valeurs ont été obtenues par interpolation, procédé de calcul d'autant mieux justifié dans la circonstance qu'il a été reconnu que les courbes $f(T, t-\theta)=o$ correspondant à une même expérience se rapprochaient beaucoup d'une ligne droite. Les valeurs correspondantes de l'élément h (charge en millimètres d'eau) ont été également déterminées par interpolation.

On n'a plus conservé sur ces nouveaux tableaux (dont ci-après également un spécimen se rapportant à la même expérience n° 5) que les valeurs de $t-\theta$, ce qui a permis de se débarrasser de l'élément θ, qu'on a supposé constant et égal à 20°, chiffre dont il s'est, en fait, peu écarté pendant les expériences. L'adoption d'une valeur fixe pour θ était, d'ailleurs, justifiée par cette considération qu'une légère variation de cet élément ne peut sensiblement influer sur la différence $t-\theta$.

N° 5. — Longueur de tube soumise a l'échauffement: $1^m,500$.

CHARGE en millimètres d'eau h	TEMPÉRATURE de l'eau chaude T	ÉCHAUFFEMENT $t-\theta$ DE L'AIR PASSANT DANS LES TUBES EN LAITON DES DIAMÈTRES				
		$0^m,02$	$0^m,04$	$0^m,05$	$0^m,075$	$0^m,10$
36 »	100	51,9	30,7	23,2	13,9	9,9
35,9	95	49 »	29,3	22,5	13,5	9,7
37 »	90	45,6	27,1	20,7	12,4	9 »
36 »	85	42,2	25,2	19,2	11,5	7,9
35,8	80	39,1	23,1	17,5	10,5	7,4
35,9	75	35,5	20,8	16,1	9,6	6,7
35,9	70	32,1	18,9	14,5	8,7	6,2
36,2	65	28,7	16,9	13 »	7,8	5,6

Avec les éléments de ces nouveaux tableaux on a pu

construire les courbes $\varphi\ (h,\ t - 0) = 0$, chacune d'elles correspondant à une valeur déterminée de T, en même temps qu'à un tube donné de diamètre et de longueur; il a été reconnu, comme il était facile de s'y attendre, que ces courbes présentaient de légères irrégularités de forme dues, comme il a été dit plus haut, tant aux légères erreurs d'expérimentation qu'au manque de constance des éléments 0 et h; il était rationnel de modifier légèrement ces courbes de manière à leur rendre, autant que possible, la continuité qui leur manquait; cela fait, on a alors pu relever sur chacune d'elles les valeurs de $t - 0$ correspondant à des vitesses de l'air variant de 5 en 5 mètres, vitesses dont les valeurs sont reliées à la variable h par la formule citée plus haut (page 532) en même temps que par la relation :

$$h = \frac{P \times 0{,}0013}{1 + 20 \times 0{,}00367}.$$

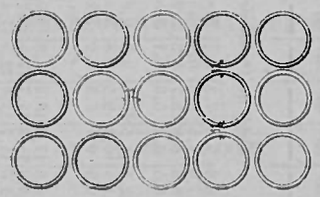
C'est ainsi qu'a été obtenu le relevé reproduit ci-après qui donne, pour chacune des trois longueurs de $1^m{,}500$, 1 mètre et $0^m{,}500$ combinées avec chacun des cinq diamètres de 100, 75, 50, 40 et 20 millimètres, l'échauffement de l'air circulant aux vitesses de 10, 15, 20 ou 25 mètres par seconde, dans un tube soumis extérieurement à une température variant de 65 à 100°.

TABLEAU A.

Tableau donnant l'élévation de température ($t - 0$) que subit l'air en passant dans des tubes en laiton de différentes longueurs et de différents diamètres, chauffés extérieurement à des températures T variant de 65° à 100°.

| DIAMÈTRES des tubes | VITESSE d'écoulement de l'air dans les tubes | AUGMENTATION DE TEMPÉRATURE $t - 0$ ACQUISE PAR L'AIR A LA SORTIE DES TUBES LORSQUE CEUX-CI SONT CHAUFFÉS A UNE TEMPÉRATURE DE: | | |

Le tableau qui précède permet de déterminer d'un coup d'œil de quelle valeur s'élève la température de l'air qui traverse un tube maintenu extérieurement à une température donnée: pour en rendre l'emploi plus facile en vue de l'étude de la première des deux questions que nous nous sommes posées (Voir page 530), nous avons jugé indispensable de le transformer en y introduisant un élément nouveau, à savoir le faisceau tubulaire, que nous avons supposé constitué par des tubes de même diamètre disposés en files perpendiculaires, et espacés de 0m,011 mesurés de la surface intérieure d'un tube à la surface intérieure du tube voisin, comme l'indique la *fig.* ci-dessous.



Il est facile de s'assurer que le nombre n des tubes d'un faisceau tubulaire ainsi constitué, par mètre carré de surface de plaque tubulaire, est égal à :

$$\frac{1}{(d + 0{,}011)^2}.$$

Les nouveaux tableaux, dans lesquels a été introduit l'élément n, sont reproduits ci-après. Chacun d'eux se rapporte à une température de condensation différente, entre 100° et 65°; ils font connaître notamment, dans chaque cas, le poids de vapeur condensée à la température choisie par heure et par mètre carré de surface tubulaire, et la surface de plaque nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur à l'heure. Les calculs qui ont permis de déterminer ces éléments sont d'une grande simplicité, et je ne crois pas utile de les indiquer ici.

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 100°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : 1 atm. TABLEAU N° 1.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée par tube et par seconde.
P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : 0m,500						LONGUEUR DES TUBES : 1m,000						LONGUEUR DES TUBES : 1m,500					
			$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m²	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m²	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m²
0,100	81	10	4,5	0,094	0,101	0,000188	55	18,18	8,6	0,094	0,194	0,000361	105	9,52	12,2	0,064	0,275	0,000512	149	6,71
		15	3,8	0,141	0,128	0,000238	69	14,49	7,6	0,141	0,257	0,000478	139	7,19	10,7	0,141	0,362	0,000671	197	5,08
		20	3,4	0,188	0,153	0,000284	83	12,04	6,8	0,188	0,307	0,000571	166	6,02	9,8	0,188	0,442	0,000823	240	4,17
		25	3,4	0,235	0,192	0,000357	104	9,61	6,5	0,235	0,387	0,000683	199	5,02	9,6	0,235	0,541	0,001007	294	3,10
0,075	135	10	7,3	0,053	0,093	0,000173	84	11,90	12,5	0,053	0,159	0,000296	144	6,94	17,1	0,053	0,217	0,000404	196	5,10
		15	6,1	0,079	0,116	0,000216	105	9,52	11 »	0,079	0,208	0,000387	188	5,31	14,8	0,079	0,284	0,000528	254	3,94
		20	5,6	0,106	0,142	0,000264	128	7,81	9,8	0,106	0,249	0,000463	225	4,44	13,4	0,106	0,341	0,000635	309	3,23
		25	5,2	0,132	0,165	0,000307	140	6,71	»	»	»	»	»	»	12,9	0,132	0,409	0,000761	370	2,70
0,050	208	10	10,9	0,023	0,060	0,000111	107	9,34	18,6	0,023	0,103	0,000191	184	5,43	25,7	0,023	0,142	0,000264	255	3,92
		15	9,3	0,035	0,080	0,000148	142	7,04	16,9	0,035	0,142	0,000264	255	3,92	23,6	0,035	0,198	0,000368	355	2,82
		20	8,9	0,047	0,100	0,000186	179	5,58	15,6	0,047	0,176	0,000327	315	3,20	22 »	0,047	0,248	0,000461	445	2,25
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	13,5	0,015	0,049	0,000091	126	7,93	23 »	0,015	0,083	0,000154	213	4,70	32,7	0,015	0,118	0,000219	303	3,30
		15	12 »	0,022	0,063	0,000117	162	6,17	20,6	0,022	0,101	0,000202	279	3,59	30,5	0,022	0,161	0,000299	413	2,42
		20	11 »	0,030	0,079	0,000147	203	4,92	19,3	0,030	0,139	0,000258	357	2,80	29 »	0,030	0,209	0,000389	538	1,86
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,030	1.040	10	25,4	0,0037	0,0225	0,000041	154	6,49	41,2	0,0037	0,0365	0,000068	255	3,92	51,9	0,0037	0,0460	0,000085	318	3,14
		15	23,6	0,0056	0,0317	0,000059	221	4,52	38,8	0,0056	0,0521	0,000097	363	2,75	50 »	0,0056	0,0672	0,000125	468	2,14
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 95°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : $0^{atm},833$. TABLEAU N° 2.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondante aux valeurs de m.
P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : $0^m,500$						LONGUEUR DES TUBES : $1^m,000$						LONGUEUR DES TUBES : $1^m,500$					
			$t-\theta$	p	m	Π	P	S	$t-\theta$	p	m	Π	P	S	$t-\theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog	m^2
0,100	81	10	4,2	0,094	0,095	0,000175	51	19,60	7,8	0,094	0,176	0,000324	94	10,63	11,4	0,094	0,257	0,000474	138	7,25
		15	3,6	0,141	0,122	0,000225	66	15,15	7,1	0,141	0,240	0,000442	129	7,75	10 »	0,141	0,338	0,000623	182	5,49
		20	3,2	0,188	0,144	0,000265	77	12,99	6,3	0,188	0,284	0,000524	153	6,54	9,3	0,188	0,420	0,000774	226	4,43
		25	3,2	0,235	0,180	0,000332	97	10,31	6,1	0,235	0,344	0,000634	185	5,40	8,9	0,235	0,502	0,000927	270	3.70
0,075	135	10	6,9	0,053	0,088	0,000162	79	12,66	11,5	0,053	0,146	0,000269	131	7,63	16 »	0,053	0,203	0,000374	182	5,49
		15	5,8	0,079	0,110	0,000202	98	10,20	10,3	0,079	0,195	0,000359	174	5,75	13,5	0,079	0,256	0,000472	229	4,37
		20	5,2	0,106	0,132	0,000243	118	8,47	9,1	0,106	0,231	0,000426	207	4,83	12,6	0,106	0,320	0,000590	287	3,48
		25	4,8	0,132	0,152	0,000280	136	7,35	»	»	»	»	»	»	11,8	0,132	0,374	0,000690	335	2,99
0,050	268	10	10,3	0,023	0,057	0,000105	101	9,90	17,5	0,023	0,097	0,000178	172	5,81	24,3	0,023	0,134	0,000247	238	4,20
		15	9 »	0,035	0,076	0,000140	135	7,40	15,9	0,035	0,133	0,000245	236	4,23	22,4	0,035	0,188	0,000346	334	2,99
		20	8,4	0,047	0,095	8,000175	169	5,91	14,7	0,047	0,166	0,000306	295	3,39	20,8	0,047	0,235	0,000433	418	2,39
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	12,7	0,015	0,046	0,000084	116	8,61	21,5	0,015	0,077	0,000142	196	5,10	30,8	0,015	0,111	0,000204	282	3.55
		15	11.2	0,022	0,059	0,000108	149	6,71	19,2	0,022	0,101	0,000186	257	3,89	28,7	0,022	0,151	0,000278	384	2.60
		20	10,4	0,030	0,075	0,000138	191	5,24	18 »	0,030	0,130	0,000239	330	3.03	27,2	0,030	0,196	0,000361	499	2 »
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	23,9	0,0037	0,0212	0,000039	146	6,85	38,7	0,0037	0,0343	0,000063	236	4,23	49 »	0,0037	0,0435	0,000080	300	3,33
		15	22,3	0,0056	0,0299	0,000055	206	4,85	36,4	0,0056	0,0489	0,000090	337	2,97	47,2	0,0056	0,0634	0,000116	434	2,30
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 90°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : $0^{atm},691$. TABLEAU N° 3.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondant aux valeurs de m.
P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : $0^m,500$						LONGUEUR DES TUBES : $1^m,000$						LONGUEUR DES TUBES : $1^m,500$					
			$t-\theta$	p	m	Π	P	S	$t-\theta$	p	m	Π	P	S	$t-\theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2
0,100	81	10	3,9	0,094	0,088	0,000160	47	21,28	7,3	0,094	0,165	0,000301	88	11,36	10,5	0,094	0,237	0,000433	126	7,94
		15	3,3	0,141	0,112	0,000204	59	16,95	6,5	0,141	0,220	0,000402	117	8,55	9,1	0,141	0,308	0,000563	164	6,10
		20	3 »	0,188	0,135	0,000246	72	13,88	5,7	0,188	0,257	0,000469	137	7,30	8,5	0,188	0,383	0,000700	204	4,90
		25	3 »	0,235	0,169	0,000308	90	11,11	5,6	0,235	0,315	0,000575	168	5,99	8,2	0,235	0,462	0,000844	246	4,07
0,075	135	10	6,5	0,053	0,083	0,000151	73	13,70	10,6	0,053	0,135	0,000246	120	8,33	14,8	0,053	0,188	0,000343	167	5,99
		15	5,5	0,079	0,104	0,000190	92	10,87	9,5	0,079	0,180	0,000329	160	6,25	12,6	0,079	0,239	0,000436	212	4,72
		20	4,8	0,106	0,122	0,000223	108	9,26	8,5	0,106	0,216	0,000394	191	5,24	12 »	0,106	0,305	0,000557	271	3,69
		25	4,3	0,132	0,136	0,000248	121	8,26	»	»	»	»	»	»	11 »	0,132	0,348	0,000636	309	3,24
0,050	268	10	9,7	0,023	0,053	0,000096	93	10,75	16,2	0,023	0,089	0,000162	156	6,41	22,4	0,023	0,124	0,000226	218	4,59
		15	8,4	0,035	0,070	0,000127	122	8,20	14,7	0,035	0,123	0,000224	216	4,63	20,9	0,035	0,175	0,000319	308	3,25
		20	7,7	0,047	0,087	0,000159	153	6,54	13,6	0,047	0,153	0,000279	269	3,72	19,5	0,047	0,220	0,000402	388	2,58
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	11.8	0,015	0,0424	0,000077	106	9,43	20 »	0,015	0,072	0,000131	181	5,53	28,7	0,015	0,103	0,000188	260	3,85
		15	10,5	0,022	0,0551	0,000101	140	7,14	18 »	0,022	0,095	0,000173	239	4,20	26,7	0,022	0,141	0,000257	355	2,82
		20	9,6	0,030	0,0691	0,000126	174	5,75	16,7	0,030	0,120	0,000219	303	3,30	25,4	0,030	0,183	0,000334	462	2,16
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	22,3	0,0037	0,0198	0,000036	135	7,44	36,1	0,0037	0,0320	0,000058	217	4,61	45,7	0,0037	0,0405	0,000074	277	3,61
		15	20,8	0,0056	0,0279	0,000051	191	5,24	33,7	0,0056	0,0452	0,000082	307	3,26	44,2	0,0056	0,0594	0,000108	404	2,48
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 85°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : 0^{atm},569. TABLEAU N° 4.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondante aux valeurs de m.

P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : 0^m,500						LONGUEUR DES TUBES : 1^m,000						LONGUEUR DES TUBES : 1^m,500					
			$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2
0,100	81	10	3,6	0,094	0,081	0,000146	43	23,26	6,7	0,094	0,151	0,000273	80	12,5	9.7	0,094	0,219	0,000396	115	8,70
		15	3 »	0,141	0,101	0,000182	53	18,87	6.1	0,141	0.206	0,000373	109	9,17	8,5	0,141	0,288	0,000521	152	6,58
		20	2,7	0,188	0,122	0,000221	64	15,62	5.3	0.188	0.239	0,000432	126	7,94	7,9	0,188	0,356	0,000644	188	5,32
		25	2,7	0,235	0,152	0,000275	80	12,50	5,1	0,235	0,288	0,000521	152	6,58	7,6	0,235	0,429	0,000776	226	4,43
0,075	135	10	6 »	0,053	0,076	0,000137	67	14,93	9.7	0,053	0,123	0,000222	108	9,26	13,7	0.053	0,174	0,000315	153	6,54
		15	5 »	0,079	0,095	0,000172	84	11,90	8.8	0,079	0,167	0,000302	147	6,80	11,8	0,079	0,224	0,000405	197	5,08
		20	4,4	0,106	0,112	0,000202	98	10,20	7,9	0,106	0,201	0,000364	177	5,65	11,1	0,106	0,282	0,000510	248	4,03
		25	4,1	0,132	0,130	0,000235	114	8,77	»	»	»	»	»	»	10,2	0,132	0,323	0,000585	284	3,52
0,050	268	10	8,9	0,023	0,049	0,000088	85	11,77	14,8	0,023	0.082	0,000148	143	6,99	20,9	0,023	0,115	0,000208	201	4.98
		15	7,7	0,035	0,065	0,000117	113	8,85	13,5	0.035	0,113	0.000204	197	5,08	19,2	0,035	0,161	0,000291	281	3,56
		20	7 »	0,047	0,079	0,000143	138	7,25	12,5	0,047	0,141	0,000255	246	4,06	18,2	0,047	0,205	0,000371	358	2,79
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	11 »	0,015	0,0396	0,000071	98	10,20	18,5	0,015	0.067	0,000121	167	5,99	26,5	0,015	0,095	0,000172	238	4,20
		15	9,7	0,022	0.0512	0,000092	127	7,87	16,5	0,022	0.087	0,000157	217	4,60	24,8	0,022	0,131	0,000237	328	3,05
		20	9 »	0,030	0,0648	0,000117	162	6,17	15,6	0.030	0,112	0,000202	279	3,58	23,5	0,030	0,169	0,000306	423	2,36
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	20.8	0.0037	0.0184	0,000033	124	8,07	33,3	0.0037	0.0295	0,000053	198	5,05	42.3	0,0037	0.0375	0,000067	251	3,98
		15	19,1	0,0056	0.0256	0,000046	172	5,81	31,2	0.0056	0.0419	0,000075	281	3,56	40,8	0,0056	0,0548	0,000099	371	2,70
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 80°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : 0^{atm},466. TABLEAU N° 5.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondante aux valeurs de m.

P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : 0^m,500						LONGUEUR DES TUBES : 1^m,000						LONGUEUR DES TUBES : 1^m,500					
			$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilogr.	kilog.	m^2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m^2
0,100	81	10	3,3	0,094	0,074	0,000132	38	26,32	6 »	0,094	0,135	0,000242	71	14.08	8,9	0,094	0,201	0,000360	105	9,52
		15	2,7	0,141	0,091	0,000163	48	20,83	5,5	0,141	0,186	0,000333	97	10.30	7.6	0,141	0,257	0,000461	134	7,46
		20	2,4	0,188	0,108	0,000193	56	17,86	4,9	0,188	0,221	0,000396	115	8,69	7,2	0,188	0,325	0,000583	170	5,88
		25	2,4	0,235	0,135	0,000242	71	14,09	4,5	0,235	0,254	0,000456	133	7.51	7 »	0,235	0,395	0,000709	207	4,83
0,075	135	10	5,5	0,053	0,070	0,000125	61	16,39	8,8	0,053	0,112	0,000201	98	10,20	12,5	0,053	0,159	0,000285	139	7,19
		15	4,5	0,079	0,085	0,000152	74	13,51	8 »	0,079	0,152	0,000272	132	7.57	10,6	0,079	0,201	0,000360	175	5.71
		20	4 »	0,106	0,102	0,000183	89	11,24	7,2	0,106	0,183	0,000328	159	6,29	10,1	0,106	0,257	0,000461	224	4,46
		25	3,6	0,132	0,114	0,000204	99	10,10	»	»	»	»	»	»	9,5	0,132	0,301	0,000540	262	3,81
0,050	268	10	8,2	0,023	0,045	0,000080	77	12,99	13,6	0,023	0,075	0,000134	129	7,76	19 »	0,023	0,105	0,000188	181	5,52
		15	7 »	0,035	0,059	0,000105	101	9,90	12,2	0,035	0,102	0,000183	177	5,65	17,6	0,035	0,148	0,000265	256	3,90
		20	6,5	0,047	0,073	0,000131	126	7,94	11,4	0,047	0,128	0,000229	221	4,52	16,7	0,047	0,188	0,000337	325	3,07
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	10,1	0,015	0,036	0,000064	88	11,36	16,9	0,015	0,061	0,000109	151	6,62	24,4	0,015	0,088	0,000157	217	4,60
		15	8,9	0,022	0,047	0,000084	116	8,62	15,2	0,022	0,080	0,000143	198	5,05	22,8	0,022	0,120	0,000215	297	3,36
		20	8,2	0,030	0,059	0,000105	145	6,89	14,1	0,030	0,101	0,000181	250	4 »	21,7	0,030	0,156	0,000280	387	2,55
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	19,1	0,0037	0,0169	0,000030	112	8,93	30,6	0,0037	0,0271	0,000048	180	5,55	39 »	0,0037	0,0346	0,000062	232	4,32
		15	17,6	0,0056	0,0236	0,000042	157	6,37	28,5	0,0056	0,0383	0,000068	255	3,92	37,7	0,0056	0,0506	0,000090	337	2,96
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 75°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : 0m,379. TABLEAU N° 6.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondante aux valeurs de m.
P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : 0m,500						LONGUEUR DES TUBES : 1m,000						LONGUEUR DES TUBES : 1m,500					
			$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m2
0,100	81	10	3,1	0.094	0,070	0,000124	36	27,77	5,6	0,094	0,126	0,000224	65	15,38	8,2	0,094	0,185	0,000329	96	10,41
		15	2,5	0,141	0,085	0,000151	44	22,72	4,9	0,141	0,166	0,000295	86	11,62	7 »	0,141	0,237	0,000421	123	8,13
		20	2,2	0,188	0,099	0,000176	51	19,60	4,4	0,188	0,198	0,000352	103	9,70	6,6	0,188	0,298	0,000530	155	6,45
		25	2,2	0,235	0,124	0,000220	64	15,62	4 »	0,235	0,226	0,000402	117	8,54	6,5	0,235	0,367	0,000653	190	5,26
0,075	135	10	5 »	0,053	0,064	0,000113	55	18.18	8 »	0,053	0,102	0,000181	88	11,36	11,3	0,053	0.144	0,000256	124	8 06
		15	4 »	0,079	0,076	0,000135	66	15,15	7,1	0,079	0,135	0,000240	117	8,54	9,8	0,079	0,186	0,000330	160	6 25
		20	3,9	0,106	0,099	0,000176	86	11,62	6,5	0,106	0,165	0,000293	142	7,04	9,3	0,106	0,236	0,000419	204	4,90
		25	3,3	0,132	0.104	0,000185	90	11,11	»	»	»	»	»	»	8,5	0,132	0,269	0,000478	232	4.31
0,050	268	10	7,4	0,023	0,041	0,000072	69	14,49	12,4	0,023	0,068	0,000121	117	8,54	17,5	0,023	0,097	0.000172	166	6,02
		15	6,5	0,035	0,055	0,000097	94	10,63	11,1	0,035	0,093	0,000165	159	6,28	16,3	0,035	0,137	0,000243	234	4,27
		20	5,9	0,047	0,066	0,000117	113	8,85	10,1	0,047	0,114	0,000202	195	5,12	15,3	0,047	0,172	0,000306	295	3,39
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	9.3	0,015	0,0334	0,000059	82	12,19	15,2	0.015	0,055	0,000097	134	7,46	22,1	0.015	0,079	0,000140	194	5,15
		15	8 »	0,022	0,0422	0,000075	104	9,61	13,7	0,022	0,072	0,000128	177	5,65	20,7	0,022	0,109	0,000193	267	3,74
		20	7,5	0,030	0,0540	0,000096	133	7,51	12,7	0,030	0,091	0,000161	223	4,48	19,6	0,030	0,141	0,000250	346	2,89
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	17,4	0,0037	0,0154	0,000027	101	9,90	27,7	0,0037	0,0245	0,000043	161	6,21	35,8	0,0037	0,0317	0,000056	210	4,76
		15	16 »	0,0056	0,0215	0,000038	142	7,07	25,8	0,0056	0,0346	0,000061	228	4,38	34,4	0,0056	0,0462	0,000082	307	3,25
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 70°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : 0atm,307. TABLEAU N° 7.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondante aux valeurs de m.
P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes d	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : 0m,500						LONGUEUR DES TUBES : 1m,000						LONGUEUR DES TUBES : 1m,500					
			$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m2	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m2
0,100	81	10	2,7	0,094	0,061	0,000107	31	32,25	5 »	0,094	0,113	0,000199	58	17,24	7.3	0,094	0.165	0,000291	85	11,76
		15	2,2	0.141	0.074	0,000130	38	26,31	4,4	0,141	0,149	0,000262	76	13.15	6,4	0,141	0,216	0,000380	111	9 »
		20	2 »	0,188	0,090	0,000158	46	21,73	4 »	0,188	0,180	0,000317	92	10,86	6 »	0,188	0,271	0,000477	139	7,19
		25	2 »	0,235	0,113	0,000199	58	17,24	3,5	0,235	0,197	0,000347	101	9,90	5,8	0,235	0,327	0,000575	168	5,95
0,075	135	10	4,5	0,053	0.057	0,000100	49	20,40	7,2	0.053	0,091	0,000160	78	12,82	10,2	0,053	0,130	0,000229	111	9 »
		15	3,7	0.079	0,070	0,000123	70	16,66	6,4	0,079	0,121	0,000213	104	9,61	9 »	0,079	0,171	0,000301	146	6,84
		20	3,4	0,106	0.086	0,000151	73	13,69	5,9	0,106	0,150	0,000264	128	7,81	8,4	0,106	0,214	0,000377	183	5,45
		25	2,9	0,132	0,092	0,000162	79	12,65	»	»	»	»	»	»	7,7	0,132	0,244	0,000430	209	4,78
0,050	268	10	6,8	0,023	0,0375	0,000066	64	15,62	11,1	0,023	0,061	0,000107	103	9,70	15,7	0,023	0,087	0,000153	148	6,75
		15	5,7	0,035	0,048	0,000084	84	12,34	10 »	0,035	0,084	0,000148	143	6,99	14,6	0,035	0,123	0,000216	208	4,80
		20	5,3	0,047	0,060	0,000105	101	9,90	8,9	0,047	0,100	0,000176	170	5,88	13,7	0,047	0,154	0,000271	261	3,83
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,040	384	10	8,3	0,015	0,030	0.000053	73	13,69	13,6	0,015	0,049	0,000086	119	8,40	20 »	0,015	0,072	0,000127	176	5,68
		15	7,2	0,022	0,038	0,000067	93	10,75	12,3	0,022	0,065	0,000114	158	6,32	18,7	0,022	0,099	0,000174	241	4,14
		20	6,8	0,030	0,050	0,000088	122	8,19	11,2	0,030	0,081	0,000142	196	5,10	17,7	0,030	0,127	0,000224	310	3,22
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	15,8	0.0037	0,0140	0,000025	94	10,63	24,8	0,0037	0,0220	0,000038	142	7,04	32,4	0,0037	0,0287	0,000050	187	5,34
		15	14,6	0,0056	0,0196	0,000034	127	7,87	22,8	0,0056	0,0306	0,000053	198	5,05	31 »	0,0056	0.0416	0,000073	273	3,66
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION : 65°. — FORCE ÉLASTIQUE CORRESPONDANTE : 0^{atm},246. TABLEAU N° 8.

$t - \theta$ Excès de température gagné par l'air.
p Poids d'air débité par tube et par seconde.
m Chaleur évacuée par tube et par seconde.
Π Vapeur condensée correspondante aux valeurs de m.
P Vapeur condensée par heure et par mètre carré de plaque tubulaire du condenseur.
S Surface de plaque tubulaire nécessaire à la condensation de 1.000 kilogrammes de vapeur par heure.

DIAMÈTRE des tubes b	NOMBRE de tubes au mètre carré n	VITESSE de l'air par seconde V	LONGUEUR DES TUBES : 0^m,500						LONGUEUR DES TUBES : 1^m,000						LONGUEUR DES TUBES : 1^m,500					
			$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S	$t - \theta$	p	m	Π	P	S
		mètres	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m²	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilog.	m²	degrés	kilog.	calories	kilog.	kilogr.	m²
0,100	81	10	2,3	0,094	0,052	0,000039	29	34,49	4,3	0,094	0,067	0,000169	49	20,40	6,5	0,094	0,147	0,000257	75	13,33
		15	1,9	0,141	0,064	0,000111	32	31,25	3,8	0,141	0,138	0,000223	65	15,38	5,8	0,141	0,196	0,000342	100	10 »
		20	1,8	0,188	0,081	0,000141	41	24,39	3,5	0,188	0,158	0,000276	80	12,50	5,2	0,188	0,235	0,000410	120	8,33
		25	1,7	0,235	0,096	0,000167	49	20,40	3 »	0,235	0,169	0,000295	86	11,62	5,1	0,235	0,288	0,000503	147	6,80
0,075	135	10	3,9	0,053	0,050	0,000087	42	23,80	6,5	0,053	0,083	0,000145	70	14,28	9,2	0,053	0,117	0,000204	99	10,10
		15	3,2	0,079	0,060	0,000104	51	19,60	5,7	0,079	0,108	0,000187	91	10,98	8 »	0,079	0,152	0,000265	129	7,75
		20	2,8	0,106	0,071	0,000124	60	16,66	5,2	0,106	0,132	0,000230	112	8,92	7,5	0,106	0,191	0,000333	162	6,17
		25	2,5	0,132	0,079	0,000138	67	14,92	»	»	»	»	»	»	6,9	0,132	0,218	0,000381	185	5,40
0,050	268	10	5,9	0,023	0,032	0,000055	53	18,86	9,9	0,023	0,055	0,000096	93	10,75	14,1	0,023	0,078	0,000136	131	7,63
		15	5 »	0,035	0,042	0,000073	70	14,28	8,8	0,035	0,074	0,000129	124	8,06	13,2	0,035	0,111	0,000194	187	5,34
		20	4,5	0,047	0,051	0,000089	86	11,62	8 »	0,047	0,090	0,000157	151	6,62	12,4	0,047	0,140	0,000244	235	4,25
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,010	384	10	7,3	0,015	0,026	0,000045	62	16,12	12,3	0,015	0,044	0,000076	105	9,52	17,8	0,015	0,064	0,000111	153	6,53
		15	6,3	0,022	0,033	0,000057	79	12,65	11 »	0,022	0,058	0,000101	140	7,14	16,8	0,022	0,089	0,000155	214	4,67
		20	6 »	0,030	0,043	0,000075	104	9,61	10,1	0,030	0,073	0,000127	176	5,68	15,8	0,030	0,114	0,000199	275	3,63
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,020	1.040	10	14 »	0,0037	0,0124	0,000021	79	12,65	22,1	0,0037	0,0196	0,000034	127	7,87	29,2	0,0037	0,0259	0,000045	168	5,95
		15	13 »	0,0056	0,0174	0,000030	112	8,92	20,5	0,0056	0,0275	0,000048	180	5,55	27,7	0,0056	0,0372	0,000065	243	4,11
		20	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
		25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Application à l'étude d'un condenseur à air pour locomotives. — L'usage de ces tableaux va nous permettre de répondre immédiatement à la première question posée au commencement de ce travail.

Prenons, pour fixer les idées, le cas d'une locomotive dépensant 7.000 kilogrammes de vapeur à l'heure, et recherchons les dimensions du faisceau tubulaire à employer pour condenser ce poids de vapeur (*) et le ramener à la température de 65° correspondant à une dépression, au condenseur, de 3/4 d'atmosphère. Supposons, d'un autre côté, que nous fassions circuler l'air dans le faisceau à la vitesse de 15 mètres par seconde.

L'examen du tableau n° 8, qui correspond à la température de condensation de 65°, montre immédiatement que le volume du condenseur devra être de $7 \times 31{,}25 \times 0{,}5 = 109$ mètres cubes, si le faisceau est formé de tubes de 0^m,100 de diamètre et de 0^m,500 de longueur.

On trouverait de même, pour le volume du condenseur :

69 mètres cubes pour le diamètre de 0,075 et la longueur de 0^m,500
50 d° 0,050 d° 0 ,500
44 d° 0,040 d° 0 ,500
31 d° 0,020 d° 0 ,500

En adoptant la longueur de 1 mètre, le volume nécessaire serait de :

108 mètres cubes pour un faisceau de tubes de 0^m,100 de diamètre
77 d° d° 0 ,075 d°
56 d° d° 0 ,050 d°
50 d° d° 0 ,040 d°
39 d° d° 0 ,020 d°

(*) La transmission de la chaleur à travers les parois du faisceau tubulaire se fait ici de la vapeur à l'air, tandis que, dans les expériences décrites plus haut, elle se faisait de l'eau à l'air. Nous avons admis que la loi de transmission était la même, en raison de ce que cette eau était constamment maintenue en mouvement par le fonctionnement de l'agitateur à palettes établi dans la caisse B (Pl. XV).

(Voir *Traité de Physique industrielle*, par L. Ser, n°s 119 à 122).

Et, enfin, pour la longueur de 1m,500, ce volume deviendrait :

105 mètres cubes pour un faisceau de tubes de			0m,100
81	d°	d°	0 ,075
56	d°	d°	0 ,050
49	d°	d°	0 ,040
43	d°	d°	0 ,020

Ces tableaux vont nous mettre en mesure de répondre au premier point. Nous supposerons, à cet effet, que nous nous proposons de condenser la vapeur d'échappement, en ramenant sa température à 65° (limite inférieure de nos expériences) ; la dépression au condenseur serait alors sensiblement de 3/4 d'atmosphère. Nous admettrons, en outre que le condenseur est composé de tubes de 1m,500, longueur la plus avantageuse, et que la vitesse de l'air est de 15 mètres par seconde ; nous tablerons enfin sur une dépense de 7 mètres cubes d'eau à l'heure.

L'examen des tableaux montre de suite que, suivant le diamètre des tubes, il faudra donner à la surface tubulaire les valeurs ci-après :

Diamètre des tubes	Surface tubulaire
0m,10	$7 \times 10 = 70^{m2}$
0 ,075	$7 \times 7{,}75 = 54{,}25$
0 ,05	$7 \times 5{,}34 = 37{,}38$
0 ,04	$7 \times 4{,}67 = 32{,}69$
0 ,02	$7 \times 4{,}11 = 28{,}77$

En supposant le système tubulaire disposé verticalement, il faudrait l'emplacement de deux grands fourgons à bagages pour le loger en entier dans le cas du diamètre de 0m,04, un peu moins pour le diamètre de 0m,02 ; quant aux autres diamètres, nous ne nous en occuperons pas, en raison de l'exagération de surface de plaque qu'ils exigeraient.

En admettant que les tubes aient une épaisseur de 1 millimètre et soient en laiton, il est facile de calculer que le poids du faisceau serait de 19 tonnes environ pour le diamètre de 0m,04, et de 22 tonnes 1/2 pour le diamètre de 0m,02.

Quelle est maintenant la force nécessaire pour faire circuler l'air à travers les tubes constituant le condenseur ?

Nous ne ferons de cet élément qu'une recherche très approximative, mais qui sera néanmoins suffisante dans l'espèce, comme on pourra le voir.

Prenons d'abord le cas du diamètre de 0m,04 et faisons une application de la formule :

$$V = \sqrt{\frac{2gP}{1 + \frac{0{,}024L}{D}}},$$

que nous avons déjà eu l'occasion d'employer ; on en tire :

$$P = \frac{V^2}{2g}\left(1 + \frac{0{,}024L}{D}\right).$$

Faisons $V = 15$, $g = 9{,}8088$, $L = 1{,}5$, et $D = 0{,}04$, et nous trouverons :

$$P = 22 \text{ mètres.}$$

P est une charge exprimée en colonne d'air. Pour la ramener à une charge h en colonne d'eau (la température de l'air étant supposée de 10°), il faut écrire l'équation :

$$h = \frac{P \times 0{,}0013}{1 + 10 \times 0{,}00367},$$

dans laquelle 0,0013 est la densité de l'air, et 0,00367,

son coefficient de dilatation. On en tire :

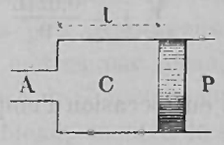
$$h = 0^m,028.$$

De même, pour le diamètre de $0^m,02$, le calcul fournit

$$h = 0^m,040.$$

On peut alors, comme suit, se rendre compte du travail qui sera absorbé pour assurer la circulation de l'air dans le faisceau tubulaire.

Admettons que l'appareil soufflant consiste simplement en un piston P de section s refoulant à la conduite A l'air contenu dans le cylindre C.



La résistance rencontrée par le piston sera égale à $1.000sh$ kilogrammes, et le travail développé pour mettre en circulation le volume d'air sl aura pour valeur $1.000sh \times l$ kilogrammètres, soit $1.000h$ par mètre cube d'air, ou encore $\frac{1000h}{1,3}$ par kilogramme.

Si nous appliquons cette expression au cas des tubes de 0,04, nous trouvons un travail de :

$$\frac{1.000 \times 0,028}{1,3} = 21 \text{ kilogrammètres par kilogramme d'air.}$$

Or, par seconde, à la vitesse de 15 mètres, chaque tube de 0,04 débite (Voir les tableaux) $0^{kg},022$ d'air, et le nombre des tubes du condenseur est de $32,69 \times 384$. Le poids total de l'air débité par seconde est en conséquence

de $32,69 \times 384 \times 0,022$, soit 276 kilogrammes d'air, qui exigeront, pour leur circulation, une dépense de travail de $276 \times 21 = 5.796$ kilogrammètres, ou encore 77 chevaux.

Un calcul analogue fournirait, pour le condenseur à tubes de $0^m,02$, 69 chevaux.

Ces chiffres théorique devraient être, bien entendu, majorés dans une notable proportion, au moins doublés, pour se rapprocher de la réalité, et on peut dire, sans crainte d'être taxé d'exagération, que c'est une fraction égale à douze ou quinze centièmes de la puissance de la machine qui devrait être employée à l'envoi de l'air frais dans le condenseur. Il y a encore lieu de considérer que l'appareil soufflant aurait à assurer le tirage du foyer, soit à faire passer dans le faisceau tubulaire de la chaudière une vingtaine de kilogrammes d'air par seconde.

L'application d'un condenseur à air aux locomotives se traduirait donc par une perte de puissance que nous venons d'évaluer à 12 ou 15 p. 100. Elle aurait encore pour conséquence de comporter l'adjonction aux locomotives : 1° d'un appareil tubulaire d'un volume énorme et d'un poids de 30 à 35 tonnes, en y comprenant les châssis sur roues nécessaires pour le porter ; 2° d'un appareil soufflant qui serait également fort encombrant, puisqu'il aurait pour fonction de refouler dans le condenseur proprement dit un volume d'air de 200 mètres cubes par seconde.

On peut même se demander si un tel appareil soufflant pourrait être établi.

La turbine d'un ventilateur à force centrifuge débitant un tel volume et marchant à la vitesse de 200 tours par minute devrait avoir au moins 5 mètres de diamètre, ce qui permet de se figurer le volume total qu'il occuperait ; ce serait un monument qu'un train ne saurait emmener. Quant à l'emploi d'un souffleur à piston, il serait tout à fait irréalisable, attendu que l'appareil devrait comporter

un volume total de cylindres soufflants de 400 mètres cubes (en supposant quinze coups de piston aller et retour par minute).

Conclusion. — Il est hors de doute que de pareils inconvénients équivalent à autant d'impossibilités et ne sauraient, même de bien loin, entrer en balance avec le faible avantage que pourrait donner la condensation, appliquée aux locomotives. On peut affirmer, sans crainte d'erreur, qu'il n'y a rien à chercher dans cette voie pour l'amélioration de ce genre de machines.

Paris, décembre 1895.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1894

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

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

1° *Minerais de zinc.* — Recherches dans la commune de Pommiers (Gard). Gisement au contact des calcaires métamorphiques et des schistes anciens :

Mas de Roumieux, attaque n° 1. Cassure N.E.-S.O. Calamine.

Zinc..... 32,20 p. 100.

Mas de Roumieux, attaque n° 2. Cassure parallèle. Calamine.

Zinc..... 37,50 p. 100.

Mas de Roumieux, attaque n° 3. Cassure parallèle. Calamine.

Zinc..... 14,70 p. 100.

Recherche de la ferme. Calamine et blende.

Zinc..... 32,80 p. 100.

Grattage Castelnau. Calamine et blende.

Zinc..... 22,40 p. 100.

Recherche Fesquet. Affleurement d'une grande cassure.

Zinc..... 14,20 p. 100.

Ravin sud-ouest. Affleurement au-dessus de la galerie inférieure.

Zinc..... 28,80 p. 100.

Ravin sud-ouest. Galerie supérieure. Galerie de gauche.

Zinc..... 15,20 p. 100.

Filon de la descenderie. Calamine.

Zinc..... 8,80 p. 100.

Ravin sud-ouest. Niveau 393. Calamine.

Zinc..... 8,51 p. 100.

Ravin sud-ouest. Niveau 414. Calamine.

Zinc..... 11,85 p. 100.

Filon de la descenderie. Échantillon pris au triage.

Zinc..... 13,50 p. 100.

Ravin sud-ouest. Calamine.

Zinc..... 21,60 p. 100.

Chemin des Pommiers. Calamine.

Zinc..... 23,20 p. 100.

Recherche de la ferme. Calamine.

Zinc..... 27.20 p. 100.

2° *Minerais de plomb et de zinc.* — Recherches d'Arrigas (Gard). Gîte de contact entre les calcaires métamorphiques et les schistes anciens. Filon de 4 à 5 mètres de puissance. Le remplissage quartzeux contient de la blende, de la galène, de la calamine près des calcaires, et des mouches de cuivre oxydé.

Calamine crue de la descente Aubrespy :

Zinc..... 33,40 p. 100.

Calamine plombeuse de la descente Aubrespy :

Zinc..... 10,10 p. 100.
Plomb..... 0,45 p. 100.

Blende avec galène fine de la galerie Boussuges :

Zinc..... 27,80 p. 100.
Plomb..... 7,50 p. 100.
Argent..... 1^{kg},570 à la tonne de plomb.

Blende de la descente Finiels :

Zinc..... 44,10 p. 100.
Plomb..... traces.
Argent..... 80 grammes à la tonne de minerai.

Galène fine, gangue quartzeuse, de la descente Finiels :

Plomb..... 30,10 p. 100.
Argent..... 1^{kg},660 à la tonne de plomb.

Galène à larges facettes, galerie chez Flory :

Plomb..... 72,60 p. 100.
Argent..... 0^{kg},965 à la tonne de plomb.

3° *Minerais de zinc.* — Recherches du Mazel, près le Bleymard (Lozère). Gisement dans le lias. Couche interstratifiée. Calamine extraite des déblais des anciens travaux.

Morceaux de choix :

a) Zinc..... 42,50 p. 100.
b) Zinc..... 35,20 p. 100.
c) Zinc..... 12,70 p. 100.

4° *Minerais de plomb argentifère.* — Recherches d'Allenc (Lozère). Gisements dans le lias, les dolomies infraliasiques et le granite.

Lias. Galerie Eugénie au Mas Planty en direction dans un filon Heure 9.

Galène à larges facettes :

Plomb..... 24,50 p. 100.
Argent..... 810 grammes à la tonne de Pb.

Deuxième essai sur nouveaux échantillons :

Plomb..... 31,80 p. 100.
Argent..... 795 grammes à la tonne de Pb.

Dolomies infraliasiques. Galerie Jeanne en direction dans un filon Heure 6.

Galène à larges facettes :

Plomb..... 65,30 p. 100.
Argent..... 460 gr. à la tonne de Pb.

Deuxième essai sur d'autres échantillons :

Plomb..... 55,20 p. 100.
Argent..... 440 gr. à la tonne de Pb.

Filon Heure 9 à 10, au contact du granite et des dolomies infraliasiques.

Galerie Jeanne bis, en direction dans ce filon.

Galène à larges facettes :

Plomb..... 64,20 p. 100.
Argent..... 540 gr. à la tonne de Pb.

Deuxième essai sur d'autres échantillons :

Plomb	41,50 p. 100.
Argent	510 gr. à la tonne de Pb.

Granite. Puits Robert foncé dans un filon Heure 6 encaissé dans les granites. Travaux situés au nord du hameau de Beyrac.

Galène à larges facettes et à gangue quartzeuse :

Plomb	48,80 p. 100.
Argent	1kg,175 à la tonne de Pb.

5° *Minerai de plomb argentifère.* — Recherche de la Serreyrède, commune de Vallerangue (Gard).

Filon quartzeux de 4 mètres de puissance dans les schistes anciens.

Galène à grain fin, gangue quartzeuse :

Plomb	14,50 p. 100.
Argent	1kg,430 à la tonne de Pb.

6° *Minerais d'antimoine.* — Concessions de Vieljouve, Terraillon et Saint-Michel-de-Dèze (Lozère).

Filons dans les schistes anciens.

Mine de Vieljeuf. Stibine :

Antimoine	51,10 p. 100.

Mine de Terraillon. Stibine :

Antimoine	41,60 p. 100.

Mine de Saint-Michel-de-Dèze. Stibine :

Antimoine	23,20 p. 100.

Mine de Saint-Michel-de-Dèze. Stibine :

Antimoine	10,80 p. 100.

7° *Calcaire asphaltique.* — Recherches dans la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols (Gard). Gisement de calcaire asphaltique dans le terrain tertiaire.

Couche de 0m,20 d'épaisseur :

Bitume	13,20 p. 100.

Couches du toit et du mur :

Bitume	0,90 p. 100.

8° *Eau minérale.* — Source rencontrée dans un avancement au rocher du puits central des houillères de Portes et Sénéchas.

Composition par litre :

	gr.
Chlorure de sodium	16,805
Sulfate de soude	3,479
— de chaux	2,176
— de magnésie	1,650
Oxyde de fer	traces
Acide silicique	0,050
Carbonates	pas

II. — LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

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

1° *Houille.* — Essai de deux échantillons provenant de la mine de la Combelle : système de la Verrerie, région Basse-Combelle (bassin de Brassac, Puy-de-Dôme).

L'échantillon *a*, tiré de la veine de la verrerie, est très brillant et présente une cassure clivée, à petites facettes.

L'échantillon *b*, tiré de la veine de forge, offre dans sa cassure des alternances de parties ternes et de parties très brillantes; il renferme un peu de pyrite de fer.

	a	*b*
Humidité	1,20	1,30
Cendres (grises, réfractaires)	3,00	9,70
Résidu de calcination : Pulvérulent, fritté, assez brillant	85,23	»
Résidu de calcination : Partiellement aggloméré, dur, brillant	»	84,83
Perte au feu, diminuée de l'eau de mouillage	13,57	13,87
Perte au feu du combustible sec et pur	14,16	15,58

2° *Lignite.* — Essai de trois échantillons, provenant de la commune de Ségur (Cantal), recueillis par M. le Contrôleur des mines Pommier, dans une tournée faite à l'occasion d'une demande de permis de vente présentée par le sieur Neyret, explorateur.

Aspect des échantillons :

a. Cassure d'un noir brillant, tout à fait comparable à une cassure de houille, sans fibres discernables;

b. Compact, brun très foncé, avec fibres apparentes;

c. Brun foncé, presque noir, mais sans éclat. Structure schisteuse.

Ces trois échantillons étaient depuis longtemps exposés à l'air lorsqu'ils ont été essayés. Ils ont donné les résultats suivants :

	a	*b*	*c*
Teneur en cendres	2,60	1,60	19,60
Résidu de la calcination en vase clos	43,80	39,00	48,95

Les cendres de *a* sont rouges, celles de *b* sont blanches, celles de *c* sont rougeâtres et terreuses.

Le résidu de calcination laissé par l'échantillon *a* est un véritable coke, brillant, bien caractérisé ; celui de *b* est aggloméré et dur, mais terne ; celui de *c* est pulvérulent.

3° *Lignite.* — Essai de trois échantillons provenant des communes de Moudeyres et de Saint-Front (Haute-Loire), recueillis dans une tournée faite à l'occasion d'une demande de permis de vente présentée par un groupe d'ouvriers mineurs.

Aspect des échantillons :

a. Lignite noir, à cassure moitié terne, moitié brillante, pris dans la couche supérieure du gîte en exploration ;

b. Lignite brun, très foncé, à cassure brillante (couche inférieure) ;

c. Échantillons ligneux, à fibres bien discernables.

Ces trois échantillons étaient depuis longtemps exposés à l'air lorsqu'ils ont été essayés. Ils ont donné les résultats ci-après :

	a	*b*	*c*
Teneur en cendres	16,00	7,50	8,25
Résidu de la calcination en vase clos (résidu pulvérulent)	45,50	42,25	44,25

Les cendres de *a* sont rougeâtres, celles de *b* sont grises, celles de *c* sont brunes.

4° *Mispickel aurifère.* — Essai d'un échantillon présenté par M. Charrier, ingénieur civil des mines à Paulhaguet, comme provenant des environs du village de Pouzols, commune de Josat (Haute-Loire).

Mispickel massif, dépourvu de gangue pierreuse.

Un premier essai fait sur 200 grammes de matière, par grillage et fusion plombeuse, a donné les résultats suivants :

Résidu grillé . . . . . 93 grammes, soit 46,50 p. 100.
Or (sans argent appréciable) . . 0^{gr},0085, soit 42^{gr},5 par tonne.

Un second essai, fait dans les mêmes conditions, mais avec adjonction à la prise d'essai, avant la fusion plombeuse, de la quantité d'argent nécessaire pour l'inquartation de l'or, a donné sensiblement la même teneur de 42^{gr},5 par tonne.

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

Travaux exécutés sous la direction de M. FRIEDEL, Ingénieur des Mines. (Extrait.)

1°. — *Eaux minérales.*

a) Eau de Fourchambault (Nièvre) ;

b) Eau de Renaison (Loire).

TENEUR PAR LITRE	*a*	*b*
	gr.	gr.
Résidu fixe séché à 180°	1,747	4,800
Acide carbonique libre	1,673	2,199
Bicarbonate de soude	0,075	1,370
— de potasse	»	0,0543
— de lithine	»	0,0213
— de chaux	1,753	1,0385
— de magnésie	0,457	0,286
— de fer	0,0026	0,0364
— de manganèse	»	»
— de zinc	0,0226	»
Sulfate de soude	0,296	traces
Chlorure de potassium	0,0348	0,0153
Chlorure de sodium	0,314	»
Arséniate de soude	»	traces
Phosphate de soude	0,0003	0,0003
Silice	0,012	0,057
Alumine	0,00007	»
Cuivre	traces	»
Matières organiques	»	traces

2° *Tourbes.* — Les échantillons 1 à 29 proviennent du département de la Loire ; l'échantillon 30 de la Hollande.

La composition en est indiquée au tableau ci-après.

Tourbes de la Loire (1 à 20) et de Hollande (30).

ÉLÉMENTS DOSÉS p. 100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cendres	33,3	31,7	51,2	»	35,2	26,9	21,2	66,8	40,9	22,6	46,2	75,3	46,1	37,2	52,8
	197,5	175,0	106,0	»	106,0	222,0	250,0	120,0	143,0	288,0	228,0	104,0	155,0	113,3	157,0
Pouvoir absorbant	0,312	0,130	0,170	0,006	0,203	0,134	0,130	0,206	0,083	0,167	0,250	0,182	0,214	0,262	0,198
Acide phosphorique	0,360	0,420	0,196	0,190	0,426	0,234	0,228	0,495	0,108	0,325	0,191	0,126	0,133	0,313	0,106
Chaux	0,278	0,519	0,375	0,374	0,446	0,053	0,006	0,002	0,05	0,003	0,267	0,182	0,158	0,279	0,068
Potasse	1,84	1,90	1,02	traces	1,66	1,591	1,82	0,65	1,35	1,54	2,228	0,66	1,327	1,136	0,875
Azote															

ÉLÉMENTS DOSÉS p. 100	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Cendres	45,2	42,8	12,4	72,8	66,4	83,0	64,2	40,8	44,3	68,5	18,4	13,6	30,5	36,2	9,4
	113,0	230,0	138,0	141,0	127,0	61,2	93,7	107,0	188,8	105,0	107,6	151,0	144,0	71,0	672,0
Pouvoir absorbant	0,268	0,188	0,184	0,080	0,092	0,048	0,162	0,314	0,230	0,089	0,165	0,187	0,299	0,221	0,005
Acide phosphorique	0,481	0,285	0,380	0,113	0,198	0,092	0,200	0,223	0,269	0,128	0,714	0,283	0,455	0,480	0,155
Chaux	0,049	0,075	0,010	0,183	0,192	0,099	0,121	0,194	0,213	0,352	0,028	0,066	0,050	0,079	0,050
Potasse	1,65	1,62	1,928	0,857	0,858	0,291	1,085	1,607	1,488	0,757	1,928	1,608	1,550	1,360	0,320
Azote															

IV. — LABORATOIRE D'ALGER.

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

§ 1. — MINERAIS.

1° *Blende.* — Cinq échantillons provenant de Palestro, gîtes de Nador-Chaïr. Remis par M. l'Ingénieur en chef des Mines.

N° 1. — Blende brune (Nador-Chaïr) paraissant pure ; à la surface quelques rares cristaux de sulfate de baryte.

N° 2. — Blende (filon Babor) analogue à la précédente, mais de teinte légèrement plus foncée et contenant des cristaux de carbonate de fer en géodes.

N° 3. — Minerai mixte (Nador-Chaïr), formé d'un mélange assez intime de galène à grain fin et de blende. A la surface, des traces calaminaires.

N° 4. — Minerai de deuxième (Nador-Chaïr). Il est d'un gris foncé et a perdu les caractères physiques des blendes par suite du mélange intime avec la gangue.

N° 5. — Minerai de deuxième (Babor). Identique au précédent, mais laisse voir par endroits des amas de blende jaunâtre.

L'analyse a donné :

	1	2	3	4	5
Résidu insoluble — Silice	1,25	9,25	18,30	25,33	12,93
Résidu insoluble — Alumine	0,45	2,63	6,60	11,96	5,54
Résidu insoluble — Chaux	traces	0,42	0,30	0,75	0,50
Résidu insoluble — total	1,70	12,30	25,20	38,04	18,97
Sulfure de zinc	89,70	73,25	29,30	42,19	58,10
Sulfure de plomb	2,98	0,54	32,64	5,50	4,33
Sulfure de fer	3,97	9,98	1,60	10,25	14,26
Carbonate de fer	»	2,36	»	1,47	2,19
Carbonate de chaux	»	»	»	1,10	1,32
Pertes et corps non dosés	1,65	1,57	1,26	1,45	0,83
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
TENEUR EN MÉTAUX					
Zinc	60,40	49,33	26,46	28,41	39,12
Plomb	2,58	0,47	28,27	4,76	3,75
Fer	2,42	7,43	0,99	6,72	9,73
Argent à la tonne de minerai	200 gr.	136 gr.	300 gr.	168 gr.	»
Argent à la tonne de Pb	»	»	1.061 gr.	»	»

2° *Calamine.* — Échantillon provenant de Palestro, gîtes de Nador-Chaïr ; remis par M. l'Ingénieur en chef.

Texture spongieuse. Contient dans sa masse des noyaux de blende non transformée. La prise d'essai a été faite sur une partie de l'échantillon ne paraissant pas renfermer de ces noyaux de blende.

L'analyse a donné, p. 100 :

Résidu insoluble	Silice	3,20	3,96
	Alumine	0,76	
	Chaux	traces	
Carbonate de zinc			74,26
— de plomb			15,16
— de fer			4,60
— de chaux			0,35
Sulfure de zinc			1,15
— de fer			traces
Pertes et corps non dosés			0,52
			100,00

Teneur en métaux :

Zinc	39,67
Plomb	11,76
Fer	2,22

3° *Calamine.* — Échantillon remis par M. Pape, comme provenant des environs de Palestro.

L'échantillon n'a que 1 ou 2 centimètres cubes et contient, noyé dans la pâte, un fragment de galène. La texture est compacte.

Trouvé, p. 100 :

Zinc	46,3.

4° *Minerai de plomb argentifère.* — Échantillon provenant des environs de Miliana (Zaccar) ; remis par M. le capitaine en retraite Plantier.

C'est une galène à larges facettes entourée d'une gangue argileuse rouge très ferrugineuse.

L'essai par voie sèche a été fait sur un échantillon en plaquette de 2 centimètres d'épaisseur ayant appartenu à une veine à épontes très nettes.

Trouvé, p. 100 :

Plomb	70,7
Argent (à la tonne de plomb)	404 grammes.

5° *Minerai de fer.* — Échantillon provenant de la propriété Helmaden à Rivet, remis par M. Fabre.

Ce minerai, en poussière d'un brun noirâtre (hématite), ne renferme que quelques petits fragments de roche.

Trouvé, p. 100 :

Fer	44,8
Manganèse	2,6

6° *Minerais de fer.* — Trois échantillons, remis par M. Suraqui comme provenant des environs d'Oran.

N° 1. — Minerai de fer oxydulé, gris foncé, aspect métallique, mais légèrement résineux. Par points, léger enduit de carbonate de cuivre. Ce minerai est très fortement magnétique ; sa poussière est d'un noir gris tirant un peu sur le rouge. Il renferme du fer à l'état de peroxyde et est attaqué très facilement par l'acide chlorhydrique.

N° 2. — Minerai de fer oligiste en paillettes. Il est gris et a l'éclat métallique, sauf en certains points non cristallisés, où il prend des teintes violacées. Sa poussière est d'un rouge foncé.

N° 3. — Variété de fer oxydulé en grains, agit sur l'aiguille aimantée et présente, comme le n° 1, des pôles parfaitement accusés.

Trouvé, p. 100, par titrage au permanganate (fer métallique) :

N° 1	68,7
N° 2	68,4
N° 3	66,0

7° *Minerais de fer.* — Échantillons provenant de Charon (arrondissement d'Orléansville) ; remis par M. L. Parthiot.

Roche ferrugineuse, d'un rouge ocreux, tachant les doigts. Variété d'hématite (ocre rouge).

L'analyse sommaire a donné :

Silice	20,70
Alumine	7,40
Sesquioxyde de fer	54,60
Carbonates de chaux et de magnésie	17,30
	100,00

8° *Minerai de soufre.* — Échantillon provenant de Kébritia et remis par M. l'Ingénieur en chef des Mines.

Ce minerai est formé d'une roche argilo-calcaire d'un gris d'ardoise renfermant des cristaux très purs de soufre natif à éclat résineux. Quelques petits cristaux de gypse en lamelles sont aussi visibles à l'œil nu.

Trouvé, p. 100 :

Soufre natif	16,1
Sulfate de chaux	3,2

§ 2. — Roches phosphatées et guanos.

1° *Roches phosphatées.* — Dix-neuf échantillons remis par le Service de la Carte géologique.

	PROVENANCE	CARACTÈRES
N° 1	Oued-el-Aar	Roche grisâtre silico-calcaire à grains sableux.
2	Id.	Idem.
3	Aïn-Sultan. O. Chelif	Roche analogue de teinte plus claire.
4	Région comprise entre Boghar et Aumale	Roche grisâtre silico-calcaire formée d'une pâte entourant des grains sableux et de rares nodules.
5		Idem.
6		Idem.
7		Roche jaune grisâtre analogue aux précédentes.
8		Idem.
9		Roche grise, silico-calcaire.
10		Roche grisâtre formée d'une pâte entourant des grains sableux.
11		Idem.
12		Roche analogue aux précédentes, contenant quelques cristaux calcaires.
13	Environs de M' Sila	Roche grise silico-calcaire.
14		Roche silico-calcaire noirâtre, avec nodules blancs.
15		Idem.
16		Idem.
17		Marne d'un noir gris.
18		Roche très siliceuse grise.
19		Idem.

RÉSULTATS DES ESSAIS :

	ACIDE PHOSPHORIQUE p. 100	PHOSPHATE TRIBASIQUE de chaux p. 100		ACIDE PHOSPHORIQUE p. 100	PHOSPHATE TRIBASIQUE de chaux p. 100
N°s 1	8,63	18,84	N°s 11	9,6	20,9
2	20,79	45,38	12	8,6	18,7
3	12,53	27,36	13	3,2	6,9
4	16,40	25,8	14	20,74	45,27
5	10,1	22,05	15	21.52	46,98
6	12,2	26,6	16	14,28	31,17
7	19,1	41,7	17	5,04	11,00
8	13,2	28,8	18	3,77	8,23
9	5,5	12,0	19	4,41	9,63
10	7,3	15,9			

2° *Roches phosphatées.* — Trois échantillons provenant de la commune mixte d'Oum-el-Bouaghi ; remis par M. Lussac.

N° 1. — Roche blanche à pâte silico-calcaire contenant de petits coquillages.

N° 2. — Roche analogue à la précédente, renfermant une dent de poisson.

N° 3. — Roche analogue aux deux précédentes avec débris roulés dans la pâte.

	ACIDE PHOSPHORIQUE p. 100	PHOSPHATE TRIBASIQUE de chaux p. 100
N°s 1	3,71	8,09
2	12,47	27,22
3	10,99	23,99

3° *Guanos.* — Quatre échantillons provenant de grottes de la région de Lamartine ; remis par E. Guignard.

N° 1. — Guano mélangé à des matières terreuses très ferrugineuses qui lui donnent une teinte brun rouge. On distingue quelques débris organiques (crottins) assez bien conservés. Des fragments légèrement roulés d'hématite riche en fer ont été écartés pour l'analyse ; malgré cela, il en reste dans l'échantillon une forte proportion en poussière.

N° 2. — Guano d'une teinte plus claire et plus jaune que le précédent, contenant une plus forte proportion de débris organiques (crottins de la grosseur d'un grain de blé). On y trouve encore quelques fragments de roches.

N° 3. — Terre grise assez dense. Pas de débris organiques apparents.

N° 4. — Échantillon compact, léger, assez tendre et d'une teinte jaunâtre avec mouchetures blanches.

L'analyse sommaire a donné :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
	Effervescence très peu sensible aux acides	Effervescence peu sensible aux acides	Effervescence peu sensible aux acides	Pas d'effervescence avec les acides
Eau	7,82	7,75	11,56	11,58
Matières organiques et sels ammoniacaux	24,68	40,55	14.89	12.51
Acide phosphorique	4,60	2,30	8,76	4,27
Silice et silicates insolubles	17,19	26,91	33,47	47,03
Peroxyde de fer, alumine, chaux, magnésie	45,71 — Comp. presque exclus. de peroxyde de fer et peu de chaux.	22,49 — Le peroxyde de fer domine. Quantités notables de chaux.	31,32 — La chaux domine. Peu de fer.	24,61 — La chaux domine. Très peu de fer.
Totaux	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote total	»	1,91 p. 100	»	»

L'introduction mécanique des poussières et débris ferrugineux abaisse dans une notable mesure la valeur de ces guanos.

V. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

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

§ 1. — Minerais.

1° *Minerai de plomb.* — Échantillon provenant de la région de Tébessa ; remis par M. Amouriez, garde forestier.

Galène finement grenue en mouches dans une gangue très prédominante de baryte sulfatée.

Trouvé par voie sèche :

Plomb	10,29 p. 100.
Argent	140 grammes à la tonne de minerai.

2° *Minerais de zinc.* — Deux échantillons de zinc silicaté provenant de Zaghouan ; remis par M. l'Ingénieur des Mines Jacob.

Ces échantillons sont constitués par une roche jaune tirant sur le rouge, argilo-siliceuse, dont les cavités se montrent tapissées de cristaux blancs irrégulièrement serrés.

Le 1er échantillon a donné une teneur moyenne en zinc de 54,08 p. 100.
Le 2e — — — 45,12 p. 100.

Quelques petits cristaux isolés de l'échantillon n° 1 ont donné pour 100 :

Zinc	67,17
Silice	28,05

3° *Calamine.* — Sept échantillons de calamine à gangue argilo-calcaire, provenant du Djebel-Hamimat ; remis par M. Tyssère.

Ces échantillons ont présenté en zinc les teneurs suivantes p. 100 :

11,5 41,10 5,3 10,6 9,2 9,2 14,20.

4° *Calamine.* — Deux échantillons provenant de Belkfif (environs de Tébessa) ; remis par M. l'Ingénieur des Mines Lantenois.

N° 1. — Masse légèrement rouge, parsemée de cavités, ayant tout le faciès de la calamine.

N° 2. — Masse compacte, rouge, de densité élevée.

	N° 1	N° 2
Zinc, p. 100	traces	41,26

5° *Calamine.* — Quatre échantillons de la région de Tébessa à aspect de calamine, remis par M. l'Ingénieur Lantenois.

Qualitativement deux seulement de ces échantillons accusent la présence du zinc. Leur dosage a donné les teneurs de 32,40 et de 37,26 p. 100.

6° *Calamine.* — Échantillon provenant de Djendeli, remis par M. l'Ingénieur Jacob.

Minerai rouge presque compact, très légèrement carié.

Trouvé :

Zinc	39,83 p. 100.

7° *Calamine.* — Deux échantillons provenant d'Aïn-Arko ; remis par MM. Meurs et Boussard.

Calamine jaune rougeâtre à gangue argilo-calcaire.

Trouvé :

Zinc	39,26 et 41,03 p. 100.

§ 2. — Roches phosphatées.

1° *Phosphates de chaux.* — Dix-sept échantillons provenant de Klenchela ; remis par M. Pascard.

Trouvé pour les teneurs en phosphate tribasique de chaux, p. 100 :

1er essai	47,84	38,02	29,29	40,26	49,22	36,39
2e essai	32,12	43,07	45,18	48,13	38,40	
3e essai	56,23	59,03	55,32	55,90	58,59.	

La moyenne du troisième essai est 57,06. Les six échantillons qui le composent, mélangés à poids égal et soumis au débourbage par la lévigation, ont donné un produit d'une teneur de 63,07.

2° *Phosphates de chaux.* — Cinq échantillons provenant de Bordj-Redir, remis par M. le Contrôleur des Mines Grand.

Ces échantillons sont noirâtres, ressemblant comme aspect à des calcaires siliceux et bitumineux.

Teneurs trouvées en phosphate tricalcique, p. 100 :

56,50 59,65 61,52 50,49 57,75.

3° *Phosphates de chaux.* — Dix-neuf échantillons, provenant de la principale couche du Djebel-M'Zeïta près de Bordj-Redir ; remis par M. Grand (même aspect que les précédents).

Les échantillons sont pris à diverses hauteurs au-dessus du mur de la couche, savoir : 4 à 0m,25, 3 à 0m,50, 3 à 0m,75, 3 à 1m,00, 3 à 1m,25, et 3 à 1m,50.

Trouvé pour les teneurs en phosphate tricalcique, p. 100 :

A 0m,25	60,27	60,55	65,43	34,74.
0 ,20	54,69	62,92	58,32.	
0 ,75	29,99	46,18	54,48.	
1 ,00	26,50	30,28	29,59.	
1 ,25	30,13	59,99	26,35.	
1 ,50	60,95	65,57	65,42.	

4° *Phosphates de chaux.* — Quatre échantillons provenant de Saint-Arnaud, remis par M. Rectenwald.

Ils sont constitués par de la chaux phosphatée et du calcaire légèrement siliceux ; l'un est tendre, et les trois autres sont assez durs.

Trouvé pour la teneur en phosphate tricalcique, p. 100 :

Échantillon tendre.....	48,40.		
Échantillons durs.....	44,93	26,79	20,10.

5° *Roches phosphatées.* — Deux échantillons provenant de la région de Tébessa ; remis par M. Weil.

a. Échantillon gris, parsemé de points noirs, à texture gréseuse.

b. Marne blanche à aspect de craie phosphatée.

Dosé en phosphate tricalcique :

a 32,24 p. 100 et *b* 14,72 p. 100.

6° *Roches phosphatées.* — Vingt-trois échantillons provenant de la région d'Aïn-Regada ; remis par M. Garbe.

Ce sont des marnes appartenant à l'étage suessonien, dont la couleur varie du blanc au noir en passant par des gris divers.

Dix échantillons A viennent d'une localité, cinq échantillons B d'une deuxième, et huit échantillons C d'une troisième.

Trouvé pour les teneurs en phosphate tricalcique, p. 100 :

Échantillons A	moyenne	12,95	avec minimum de	6,81	et maximum	21,36.
— B	—	28,30	—	18,24	—	43,01.
— C	—	21,44	—	14,29	—	29,42.

7° *Roches phosphatées.* — Quarante-trois échantillons provenant des environs d'Aïn-Regada ; remis par M. Garbe.

Marnes suessoniennes comme au numéro précédent.

Treize échantillons D proviennent d'une localité, seize échantillons E d'une deuxième, et quatorze échantillons F d'une troisième.

Trouvé pour les teneurs en phosphate tricalcique, p. 100 :

Échantill. D	moyenne	15,68	avec minimum de	(traces)	et maximum	32,44.
— E	—	16,65	—	9,90	—	21,45.
— F	—	8,36	—	traces	—	15,64.

8° *Roches phosphatées.* — Échantillons provenant d'El-Kantara ; remis par M. l'Ingénieur Jacob.

Sur le groupe d'échantillons emportés de cette localité, deux seulement contenaient des quantités appréciables de phosphore. Ils étaient d'un gris sale parsemé de points noirs comme les échantillons de Tébessa, mais plus durs que ces derniers.

Trouvé pour teneur :

Phosphate tricalcique..... 9,09 et 20,36 p. 100.

9° *Phosphates.* — Trois échantillons provenant de la région de Tébessa ; remis par M. l'Ingénieur Lantenois.

Comme tous ceux de la région, ces échantillons ont l'aspect de calcaires grisâtres parsemés de points noirs.

Trouvé pour les teneurs en phosphate tricalcique, p. 100 :

52,34 39,26 60,83.

10° *Phosphates.* — Vingt-deux échantillons provenant du territoire d'Erkbel (flanc occidental du Dyr de Tébessa); remis par M. Hebré.

Échantillons à aspect de calcaire grisâtre parsemé de points noirs.

Trouvé pour teneur en phosphate tribasique, p. 100 :

59,86	52,04	62,89	65,92	43,56	42,90	65,06	40,85.
68,18	45,29	55,28	57,40	62,20	61,90	58,60	50,83.
41,34	45,26	40,84	52,06	42,17	14,65.		

Le dernier échantillon, à 14,65, est pulvérulent et contient de l'humus.

11° *Phosphates.* — Douze échantillons provenant de la région de Tébessa; remis par la Société Française.

Quatre de ces échantillons proviennent de Aïn-Deba et huit de Aïn-Kissa; ces derniers tiennent de 1 à 3 p. 100 d'humidité.

Trouvé pour les teneurs en phosphate tricalcique, p. 100 :

Aïn-Deba	56,22	55,66	57,75	54,87.
Aïn-Kissa (sur le sec)	65,00	46,70	50,64	52,88.
Idem.	47,86	60,08	68,65	55,94.

VI. — LABORATOIRE D'ORAN.

Travaux de M. PONCELET, Contrôleur des Mines. (Extrait.)

PHOSPHATES ET GUANOS.

1° *Phosphates.* — Deux échantillons, provenant des environs de Lamoricière ; remis par M. Siano.

Le premier échantillon est doux, légèrement travertineux, de couleur grise, avec quelques dendrites de manganèse ; le second est arénacé, avec veinules de phosphate riche.

Dosé, p. 100 :

	N° 1	N° 2
Phosphate tribasique	80,66	53,76

2° *Phosphates.* — Échantillon provenant du Rio-Salado; remis par M. Brumaire.

Dosé, p. 100 :

Phosphate tribasique de chaux	64,76
Alumine	14,56
Peroxyde de fer	2,68

3° *Phosphates.* — Quatre échantillons provenant de Yeffry; remis par M. Brumaire.

Dosé, p. 100 :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Phosphate tribasique de chaux	66,17	47,30	51,15	61,00.
Alumine et peroxyde de fer	7,43	7,70	»	7,90.

4° *Phosphates.* — Deux échantillons provenant d'Inkermann; remis par M. Prunier.

Dosé, p. 100 :

	N° 1	N° 2
Phosphate tribasique	86,24	41,24.

5° *Phosphates.* — Deux échantillons provenant d'Inkermann ; remis par M. Mascica.

N° 1. — Échantillon blanc et compact.

N° 2. — Échantillon blanc, légèrement jaunâtre, à structure arénacée.

Dosé, p. 100 :

	N° 1	N° 2
Phosphate tribasique	88,94	89,76.

6° *Phosphates.* — Deux échantillons provenant des environs de Kalâa; remis par M. Médioni.

Le n° 1 est très friable et se transforme sous la pression des doigts en poudre blanchâtre légèrement humide. Le n° 2 est dur et compact.

Dosé, p. 100 :

	N° 1	N° 2
Phosphate tricalcique	42,90	76,45.

7° *Phosphates.* — Trois échantillons provenant de Koua; remis par M. Médioni.

Le n° 1 est compact, avec traces de fossiles ; il semble représenter la roche encaissante. Le n° 2 forme une masse molle dans une géode brune. Le n° 3 est une terre.

Dosé, p. 100 :

	N° 1	N° 2	N° 3
Phosphate tricalcique	14,43	87,00	17,87.

8° *Roche phosphatée.* — Échantillon provenant du barrage des Cheurfas; remis par M. Affegan.

L'échantillon a tout l'aspect d'un calcaire blanc.

Trouvé, p. 100 :

2,42 de phosphate tribasique de chaux.

9° *Guano.* — Échantillon provenant des environs du barrage des Cheurfas; remis par M. Affegan.

L'échantillon contient beaucoup de débris d'insectes, et renferme 28 p. 100 d'humidité.

Dosé, p. 100, sur la matière desséchée à 100° :

Acide phosphorique	3,35.
Azote	7,28.

10° *Guanos.* — Trois échantillons provenant des grottes de Koua ; remis par M. Médioni.

N° 1. — Masse brune pâteuse, avec quelques parcelles jaunâtres de terre phosphatée, contenant 54,25 p. 100 d'humidité.

N° 2. — Échantillon semblant un peu moins pâteux que le précédent, mais un peu plus terreux, contenant 35,50 p. 100 d'humidité.

N° 3. — Échantillon pulvérulent et sec.

Dosé, p. 100, sur la matière desséchée à 100° :

	N° 1	N° 2	N° 3
Phosphate tricalcique	12,95	13,16	24,75
Azote	3,80	3,71	0,85

11° *Guano.* — Échantillon provenant d'un gîte situé dans la commune mixte de Frendah ; remis par M. le Préfet d'Oran.

L'échantillon est une masse brune comprenant de nombreux débris d'insectes, avec mélange de parcelles terreuses ; elle contient 30 p. 100 d'humidité.

Dosé, p. 100, sur la matière desséchée à 100° :

Acide phosphorique	5,13.
Azote	5,63.

BULLETIN.

RÉSUMÉ STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA FRANCE PENDANT LES ANNÉES 1870 A 1894

Par M. SOL, Chef de bureau au Ministère des Travaux Publics

(*Suite et fin*) (*).

IV. — Industries diverses.

1° PYRITES DE FER. — MINERAIS DE MANGANÈSE.

ANNÉES	PYRITES DE FER					MANGANÈSE				
	production	prix moyen de la tonne	EXPORTATION des pyrites	IMPORTATION des pyrites	CONSOMMATION des pyrites	production	prix moyen de la tonne	EXPORTATION du manganèse	IMPORTATION du manganèse	CONSOMMATION du manganèse
	tonnes	fr. c.	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes
1870.....	99.569	17,41	»	12.253	111.822	2.038	72	540	15.952	17.450
1871.....	113.324	17,39	»	18.723	132.047	4.700	70	684	10.489	14.505
1872.....	135.352	17,40	9.034	18.277	144.595	10.051	74	1.496	17.051	25.606
1873.....	161.659	19,06	14.697	14.416	161.378	12.378	65	1.651	24.498	35.225
1874.....	148.768	18,00	9.893	11.785	150.660	11.392	49	686	26.014	36.720
1875.....	131.154	17,62	13.770	25.755	143.13[illegible]	9.016	52	1.362	17.440	25.094
1876.....	139.269	16,38	9.915	32.798	162.152	4.871	45	239	17.142	21.774
1877.....	149.979	15,56	13.058	29.695	166.616	7.174	41	243	15.025	21.956
1878.....	131.046	15,30	16.311	15.882	130.617	9.382	33	281	15.542	24.643
1879.....	119.558	15,30	10.492	26.158	135.224	5.968	55	435	18.846	25.379
1880.....	132.288	15,84	12.125	21.357	141.520	9.652	55	2.872	33.345	40.125
1881.....	160.030	15,61	17.143	23.319	166.206	13.708	36	1.240	26.736	39.195
1882.....	180.339	16,20	26.192	16.796	170.943	7.538	32	1.963	28.428	34.003
1883.....	165.168	16,42	21.917	20.602	163.853	6.573	30	3.334	27.081	30.320
1884.....	165.583	16,35	18.469	22.395	169.509	4.535	36	1.396	23.226	26.365
1885.....	167.984	16,27	24.026	18.350	161.308	3.424	30	679	27.568	30.313
1886.....	184.884	14,58	25.519	21.173	180.538	7.676	35	346	37.512	44.842
1887.....	209.253	15,62	19.615	24.321	213.959	12.124	33	214	35.501	47.411
1888.....	203.814	15,07	*21.371	30.162	212.605	11.048	28	592	40.565	51.021
1889.....	201.490	14,53	31.846	39.595	209.239	10.205	30	452	37.968	47.721
1890.....	229.661	14,28	15.908	39.553	253.306	15.984	28	595	54.601	69.990
1891.....	246.827	13,82	12.120	45.457	280.164	15.343	29	1.494	44.919	58.768
1892.....	230.480	12,42	22.455	47.502	255.527	32.406	32	8.541	43.888	67.753
1893.....	231.025	12,15	38.060	56.505	249.470	38.080	38	12.133	35.531	61.478
1894.....	283.439	12,08	48.626	56.672	291.485	32.751	31	8.039	43.335	68.047

(*) Voir *supra*, p. 298-301, p. 402-408 et p. 516-520.

2° SOUFRE.

ANNÉES	SOUFRE MARNEUX		IMPORTATION (*)		EXPORTATION (*)	
	production	prix moyen de la tonne	soufre impur	soufre épuré	soufre impur	soufre épuré
	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1870	1.200	15	31.893	2.187	100	4.023
1871	3.246	15	24.988	1.631	69	2.788
1872	4.565	15	45.121	1.296	221	3.079
1873	5.007	14	47.420	1.620	459	2.865
1874	4.318	14	46.293	2.093	114	2.911
1875	4.900	14	38.916	2.867	58	3.522
1876	5.280	13	52.175	2.429	189	5.601
1877	»	»	45.853	1.816	303	5.754
1878	160	13	50.505	2.075	801	4.761
1879	479	20	70.020	1.733	1.383	5.210
1880	932	20	70.642	4.530	511	4.968
1881	3.262	20	68.421	5.202	367	6.059
1882	649	20	48.099	2.573	100	8.517
1883	1.469	17	60.746	2.946	991	5.174
1884	6.376	15	63.834	8.348	2.490	5.435
1885	3.792	14	60.342	5.728	2.186	6.632
1886	4.776	20	62.755	6.899	4.001	7.828
1887	4.274	17	70.322	5.200	4.919	9.878
1888	3.065	17	60.166	2.634	4.207	9.695
1889	3.801	17	71.300	2.746	1.603	10.617
1890	4.285	16	82.108	2.286	484	10.610
1891	6.749	15	86.119	2.559	1.587	10.346
1892	7.231	15	96.075	2.555	4.577	11.688
1893	3.733	17	99.733	448	3.468	10.583
1894	851	15	112.384	152	2.246	9.873

(*) Commerce spécial.

3° ALUNITE.

Il y a lieu de mentionner une petite production d'alunite. De 1874 à 1884 inclusivement, il a été extrait d'une mine située dans le Puy-de-Dôme 8.700 tonnes environ de cette substance, soit une moyenne de 800 tonnes par an. L'exploitation, supprimée en 1885, a été reprise en 1893. Elle a produit 253 tonnes en 1893 et 354 en 1894.

4° SEL.

ANNÉES	SELS DE MINES ET DE SOURCES — Production — sel brut	sel en dissolution (pour soude)	sel raffiné	total	prix moyen — sel brut	prix moyen — sel raffiné	SEL DE MER — production du sel brut	prix moyen du sel brut	IMPORTATION (*) — sel brut ou raffiné autre que blanc	IMPORTATION (*) — sel raffiné blanc	EXPORTATION (*) — sel brut ou raffiné autre que blanc	EXPORTATION (*) — sel raffiné blanc
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	francs	francs	tonnes	francs	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1871 (**)	?	»	?	129.000	?	?	411.000	12	4.164	960	116.665	
1872	?	»	?	111.000	?	?	258.000	13	2.356	582	169.403	13.202
1873	(***) 57.000	»	(***) 150.000	207.000	10	37	391.700	13	2.920	922	144.882	32.201
1874	(***) 62.000	»	(***) 167.000	229.000	10	37	509.103	15	1.607	940	142.167	40.407
1875	(***) 57.000	»	(***) 173.000	230.000	10	24	373.631	11	2.318	181	116.825	57.410
1876	64.752	»	187.298	252.050	10	23	325.443	13	2.395	156	78.617	73.028
1877	71.971	»	180.862	252.833	10	44	337.573	13	1.236	138	98.536	70.402
1878	70.785	25.000	187.452	283.237	9	42	342.747	15	3.964	294	108.970	61.046
1879	76.723	33.000	215.338	325.061	10	45	243.616	15	17.935	151	113.427	33.490
1880	90.732	45.000	237.279	373.011	10	48	365.043	18	25.025	494	92.544	29.862
1881	88.592	55.000	214.928	358.520	10	45	447.781	16	13.922	455	61.571	62.735
1882	87.111	67.000	210.963	365.074	10	44	405.486	18	16.299	228	100.468	51.810
1883	97.486	78.000	227.784	403.270	10	34	442.312	19	12.885	562	96.982	54.704
1884	88.912	93.000	211.406	393.318	10	30	445.631	16	19.504	306	91.666	31.711
1885	73.587	115.500	200.000	389.087	9	25	311.582	16	14.062	919	109.230	36.286
1886	84.347	130.500	209.899	424.746	8	22	385.201	18	18.941	1.289	132.397	24.155
1887	90.827	146.250	217.233	454.310	6	26	300.795	15	23.671	3.388	102.987	20.732
1888	74.591	150.900	238.714	464.205	6	30	167.343	21	34.902	4.787	80.213	34.693
1889	87.251	137.144	260.661	485.066	6	28	261.728	20	41.513	887	65.607	27.594
1890	98.661	141.771	250.387	490.819	6	30	351.710	24	34.239	160	71.641	28.477
1891	152.068	150.740	199.302	502.110	6	30	308.565	21	30.922	182	91.622	27.748
1892	102.908	170.334	236.614	501.856	6	30	413.891	17	24.783	202	93.963	17.726
1893	106.396	201.571	291.831	599.798	6	30	584.520	14	23.762	196	99.012	26.250
1894	129.498	199.890	259.968	589.356	6	29	301.251	15	23.593	168	105.686	37.672

(*) Commerce spécial.
(**) Les renseignements manquent pour l'exercice 1870. En 1869, la production avait été de 220.000 tonnes pour les mines et de 594.000 tonnes pour les marais salants.
(***) Chiffres approximatifs.

3° ASPHALTE. — HUILES MINÉRALES BRUTES.

ANNÉES	PRODUCTION DES MINES				PRODUCTION DES USINES			
	Calcaire asphaltique		schistes bitumineux (*)		Asphalte (**) (Mastic, poudre, carreaux)		Huiles minérales brutes	
	Poids	Prix moyen	Poids	Prix moyen	Poids	Prix moyen	Poids	Prix moyen
	tonnes	fr. c.	tonnes	fr. c.	tonnes	francs	tonnes	francs
1871(***).	9.000	?	113.000	4,20	?	?	?	?
1872.....	13.000	16,80	192.000	4,14	?	?	?	?
1873.....	12.181	18,02	143.926	4,00	9.116	50	5.813	170
1874.....	18.371	18,48	119.331	3,79	8.483	49	6.016	184
1875.....	17.328	18,17	123.368	3,69	12.006	47	4.861	175
1876.....	18.550	18,24	157.520	4,04	14.612	48	7.348	167
1877.....	14.983	17,51	180.387	4,34	11.752	49	8.343	159
1878.....	16.343	17,04	140.346	3,68	12.680	48	6.907	143
1879.....	14.783	19,38	123.648	3,87	11.706	49	6.147	147
1880.....	21.381	18,73	122.641	3.87	16.915	48	4.322	163
1881.....	26.395	17,74	152.862	3.70	17.227	44	5.553	149
1882.....	29.635	16,60	158.429	3.35	18.556	42	5.053	148
1883.....	31.074	18,49	116.263	3.66	19.556	44	3.527	135
1884.....	20.403	18,97	181.904	4.56	14.679	43	6.636	130
1885.....	17.630	17,66	176.963	4,24	11.706	46	6.677	124
1886.....	15.651	17,02	174.091	4.11	11.112	45	7.223	138
1887.....	10.791	16,86	164.142	3.66	9.295	43	6.154	125
1888.....	14.500	16,35	174.138	3,73	7.881	41	6.274	119
1889.....	20.730	14,61	194.589	4,08	12.223	44	7.557	130
1890.....	22.698	14,83	210.646	3.85	11.199	44	7.906	115
1891.....	24.300	15,60	236.326	3.67	15.070	44	9.926	121
1892.....	24.286	15.64	200.025	3.65	14.690	44	8.008	119
1893.....	24.079	16,08	197.584	3,50	13.608	45	8.710	109
1894.....	33.274	16,37	197.329	3,49	14.336	45	8.762	110

(*) Y compris du boghead, dont la production a varié de 3.000 à 4.000 tonnes par an jusqu'en 1885 et est actuellement de près de 12.000 tonnes. Le prix indiqué est celui des schistes; on a tenu à l'écart la valeur du boghead, dont le prix moyen atteint, en général, une cinquantaine de francs par tonne.

(**) Outre l'asphalte, il a été tiré annuellement des minerais quelques centaines de tonnes de tripoli et de noir minéral, non compris dans les chiffres indiqués.

(***) Pour 1870 la distinction n'a pas été faite entre les calcaires et les schistes produits. L'extraction totale monte à 149.000 tonnes.

COMMISSION DU GRISOU

LE FORMÉNOPHONE

DE M. E. HARDY

ÉCOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

I. — RAPPORT

PRÉSENTÉ A LA COMMISSION

Par M. TERMIER, Ingénieur des mines.

Le « *forménophone* » de M. Hardy est un appareil qui doit indiquer, immédiatement et sans qu'il soit besoin d'aucun essai chimique, l'existence du grisou dans une atmosphère donnée, et qui doit même faire connaître, avec une assez grande approximation, la proportion du grisou dans cette atmosphère. C'est un *densimètre*, fondé sur ces deux faits, bien connus de tout le monde, que la hauteur du son rendu par un tuyau sonore est fonction de la densité du gaz qui parle dans ce tuyau, et que deux sons de hauteurs très voisines produisent, par leur superposition, une série de renforcements et d'affaiblissements alternatifs et périodiques, ou, comme on dit, une série de *battements*, le mot battement étant ici synonyme du mot renforcement.

L'appareil consiste essentiellement en un système de deux tuyaux sonores identiques, à embouchure de flûte, alimentés, l'un avec de l'air pur, l'autre avec de l'air où l'on soupçonne la présence du grisou. Ces deux courants

gazeux étant amenés exactement à la même température et à saturation complète, et tous deux étant débarrassés de l'acide carbonique qu'ils contenaient, les deux tuyaux parlent à l'unisson si le deuxième courant d'air ne renferme pas de grisou, et donnent deux sons de hauteurs un peu différentes si ce deuxième courant est quelque peu grisouteux. Dans ce dernier cas, la superposition des deux sons produit des battements dont le nombre, dans l'unité de temps, est sensiblement proportionnel à la teneur en grisou.

On sait, en effet, que la hauteur du son rendu par un tuyau sonore est en raison inverse de la racine carrée de la densité du gaz qui parle. Ce fait, constaté par l'expérience, est conforme à la théorie des vibrations longitudinales d'une colonne gazeuse, et résulte, d'une part, de ce que la vitesse de propagation de l'ébranlement sonore est régie par la loi de Newton, c'est-à-dire proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité et en raison inverse de la racine carrée de la masse spécifique de la substance vibrante, et, d'autre part, de ce que la hauteur du son rendu est proportionnelle à cette même vitesse de propagation. Si donc il y a variation de la densité du gaz qui parle, la hauteur du son varie : et si la variation de densité (la densité initiale étant prise égale à 1) est assez petite pour qu'on puisse la traiter comme une différentielle, la variation de hauteur du son est le produit de la hauteur initiale par la demi-variation de densité. Comme le nombre des battements par seconde est égal à la différence des hauteurs des deux sons superposés, ce nombre, dans l'appareil Hardy, est le produit de la hauteur du son que donne le tuyau alimenté d'air pur par la différence (supposée très petite) de densité des deux courants gazeux.

On obtient ainsi la formule approchée

$$n = \frac{N}{2}(1 - d)\,x,$$

dans laquelle n représente le nombre des battements par seconde, N la hauteur du son que rend le tuyau alimenté d'air pur, d la densité du grisou par rapport à l'air, x la proportion (*supposée très petite*) du grisou dans l'atmosphère suspecte. C'est la formule qu'a indiquée M. Cornu dans le rapport (*) de la Commission chargée par l'Académie des Sciences d'examiner l'invention de M. Hardy.

Si la température des deux courants gazeux n'était pas rigoureusement la même, et s'il pouvait y avoir, dans ces courants, des proportions inégales d'acide carbonique ou de vapeur d'eau, il faudrait remplacer la formule ci-dessus par une formule plus générale, qui est celle à laquelle est arrivé M. Rateau dans une récente critique de l'appareil Hardy (**),

$$n = \frac{N}{2}\left(\frac{\delta - \delta'}{\delta} - \frac{t - t'}{273 + t}\right).$$

Dans cette dernière formule, t et t' sont les températures, et δ et δ' les poids spécifiques des deux gaz que l'on compare.

Elle suppose que les différences $t - t'$ et $\delta - \delta'$ sont suffisamment petites pour être traitées comme des différentielles.

La comparaison de ces deux formules montre l'absolue nécessité : 1° d'une égalisation rigoureuse des températures ; 2° d'une absorption complète de l'acide carbonique ; 3° d'une élimination radicale de la vapeur d'eau, ou d'une saturation parfaite, en vapeur d'eau, des deux courants gazeux. M. Rateau a calculé, par exemple, que chaque degré de différence de température produirait le même effet que 7,5 millièmes de grisou ; ou, encore,

(*) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXX, séance du 11 février 1895.

(**) *Comptes rendus mensuels de la Société de l'Industrie minérale*, 1895, p. 135.

que 10 millièmes d'acide carbonique masqueraient 12 millièmes de grisou, et que 20 millièmes de vapeur d'eau produiraient sur l'appareil Hardy le même effet que 17 millièmes de grisou.

Il est juste de dire que l'inventeur s'est préoccupé, dès le début, de faire disparaître ces causes d'erreur. C'est ainsi que, dans les expériences faites, en décembre 1894, devant la Commission de l'Académie des Sciences, les deux gaz étaient dépouillés de l'acide carbonique qu'ils pouvaient contenir en quantité inégale, saturés d'humidité, et portés enfin à la même température ; et il ressort de la lecture du rapport de la Commission que les précautions prises par l'inventeur ont été jugées suffisantes, les nombres de battements observés par les membres de la Commission ayant été trouvés conformes aux résultats calculés avec la formule théorique,

$$n = \frac{N}{2}(1 - d)\, x.$$

Il est vrai que, quelques mois plus tard, en avril 1895, à la réunion mensuelle de la Société de l'Industrie Minérale de Saint-Étienne, M. Rateau, après avoir établi la formule générale dont nous avons parlé plus haut, a semblé reprocher à l'inventeur de n'avoir pas tenu suffisamment compte des trois causes d'erreur en question. Mais M. Rateau ne connaissait à ce moment-là l'appareil Hardy que par une communication fort incomplète faite, à la même réunion, par M. Pillez ; et le rapport de la Commission de l'Académie des Sciences ne lui était probablement pas tombé sous les yeux.

A la séance du 24 janvier 1896 de la Société des Ingénieurs civils de France, M. Hardy ayant exposé le principe de son appareil, M. Couriot (*), professeur d'exploi-

(*) *Procès-verbaux des séances de la Société des Ingénieurs Civils de France*, 1896, p. 39.

tation des mines à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, a réitéré les objections de M. Rateau, en s'appuyant sur les résultats des calculs de ce dernier. Mais, comme M. Rateau, M. Couriot n'avait évidemment point vu fonctionner l'appareil Hardy, et n'avait pas eu connaissance du rapport de la Commission de l'Académie des Sciences. Ses objections, qui sont purement théoriques, n'auraient de valeur que si M. Hardy n'avait pas cherché à égaliser les températures et à supprimer l'influence perturbatrice de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Réduites à leurs termes essentiels, les conclusions de la Commission de l'Académie des Sciences ont été les suivantes :

« La sensibilité de la méthode est suffisante : on pour-
« rait probablement l'accroître encore un peu.

« Il est un perfectionnement que les membres de la
« Commission ont spécialement recommandé, ce serait de
« disposer l'appareil de telle sorte que chaque battement
« pût (au moyen d'un relai électrique, par exemple) déve-
« lopper un effort mécanique capable d'actionner un enre-
« gistreur. La sécurité des mineurs serait, en effet, sin-
« gulièrement améliorée, si les ingénieurs et le mécanicien
« préposés aux ventilateurs voyaient se tracer sous leurs
« yeux un diagramme représentant à chaque instant la
« proportion de grisou dans les chantiers dangereux (*). »

Conformément à cet avis de la Commission de l'Académie des Sciences, M. E. Hardy, renonçant, pour le moment du moins, à combiner son appareil de façon à le rendre portatif, y a ajouté un appareil enregistreur. Il a également modifié quelques détails, en vue d'augmenter la sensibilité.

C'est l'appareil ainsi perfectionné qu'il a mis sous les yeux de la Commission du Grisou, et c'est sur cet appareil

(*) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXX, 11 février 1895.

qu'ont été faites, devant la Commission, les expériences qui sont relatées, un peu plus loin, dans le présent rapport.

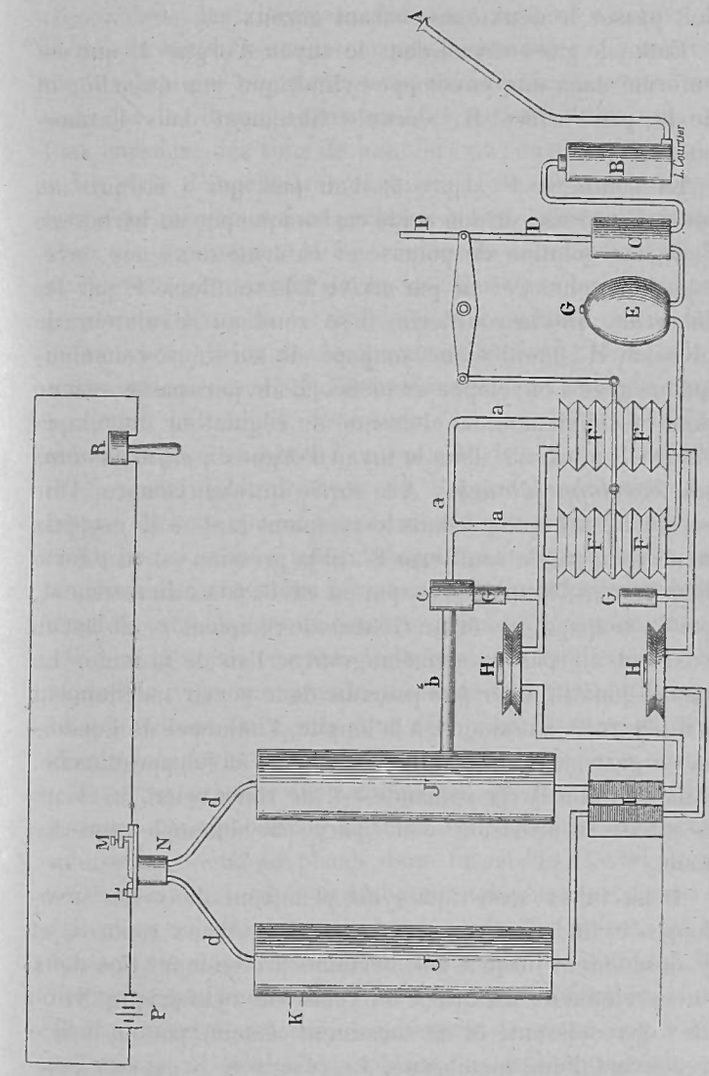
Description de l'appareil.

Il y a deux parties dans l'appareil : *le système chanteur*, qui doit être placé dans la mine, et le *système récepteur*, qui peut être *enregistreur*, et qui doit être placé au jour.

Système chanteur. — Ce système est représenté schématiquement par le croquis ci-contre.

Deux soufflerie distinctes F et F′ sont actionnées par le même moteur. Ce moteur, qui n'est pas figuré sur le dessin, est un petit moteur quelconque, à air comprimé ou à eau. Il fait fonctionner (continuellement ou à des époques fixes), par l'intermédiaire des bielles D, à la fois une pompe C et les deux soufflerie F et F′. La pompe C fait le vide dans le haut du flacon laveur B. L'atmosphère à étudier est aspirée par l'orifice A (qui peut être unique ou multiple) ; elle traverse, dans le flacon B, une solution de potasse qui lui enlève son acide carbonique, passe dans la pompe C, et, de là, dans la poche de caoutchouc E, munie d'une soupape de sûreté G. La forme du flacon laveur B est telle que ce flacon peut être renversé ou retourné sans que la solution de potasse puisse s'en échapper.

La soufflerie F aspire le gaz dans la poche de caoutchouc E, le fait passer dans un *régulateur de pression* H, muni d'une soupape de sûreté G. De là, le gaz passe dans l'un des tubes *du régulateur de température* I. C'est un tube métallique cloisonné par un très grand nombre de toiles métalliques très fines, et placé dans un vase plein



d'eau, côte à côte avec un deuxième tube identique, où doit passer le deuxième courant gazeux.

Enfin, le gaz se rend dans le tuyau d'orgue J, qui est enfermé dans une enveloppe cylindrique non étanche, et de là, par l'orifice K, s'écoule librement dans l'atmosphère.

La soufflerie F′ aspire de l'air pur, qui a été pris au jour, débarrassé de son acide carbonique par un barbotage dans une solution de potasse et enfermé dans une enveloppe étanche. Cet air pur arrive à la soufflerie F′ par les tubes *aa*. De la soufflerie il se rend au régulateur de pression H′, muni d'une soupape de sûreté G communiquant avec l'enveloppe étanche. L'air pur passe ensuite dans le deuxième tube cloisonné du régulateur de température I, et, de là, dans le tuyau d'orgue J′, *enfermé dans une enveloppe étanche*. A la sortie du tuyau sonore, l'air se rend par le tube *b* dans le récipient *c*, d'où il est pris à nouveau par la soufflerie F′. Si la pression est trop forte dans le régulateur H′, l'air pur en excès passe directement, par la soupape de sûreté G, dans le récipient *c*. En aucun cas, cet air pur ne se mélange avec l'air de la mine. La même quantité d'air pur pourrait donc servir indéfiniment s'il n'y avait à craindre, à la longue, l'influence de l'endosmose gazeuse, à travers les parois de l'enveloppe étanche. Aussi M. Hardy recommande-t-il de renouveler, de temps à autre, la provision d'air pur, par exemple tous les mois.

Deux tubes acoustiques *dd* pénètrent dans les enveloppes cylindriques qui entourent les tuyaux sonores, et y descendent jusqu'à une certaine profondeur. Ces deux tubes viennent aboutir à un réservoir cylindrique N, où ils s'épanouissent, et se terminent chacun par un orifice recouvert d'une membrane. Le réservoir N est le *résonnateur*. Ses parois latérales sont rigides, mais il est fermé en haut par une membrane élastique. Les membranes

qui terminent les deux tubes *dd* communiquent à l'air du résonnateur les vibrations des deux tuyaux sonores, et la membrane du résonnateur prend, par suite, un mouvement vibratoire résultant, avec ou sans battements, suivant que les deux tuyaux sonores parlent à l'unisson ou font entendre des sons de hauteurs un peu différentes.

Un style d'argent très élastique L repose sur la membrane du résonnateur et participe à tous ses mouvements. Une vis de contact M est réglée de telle sorte que le style reste au contact de la vis tant que les vibrations conservent l'amplitude modérée et constante qui résulte de la superposition de deux sons à l'unisson. Mais, s'il y a des battements, l'amplitude s'exagère et le style perd, à chaque battement, le contact de la vis. Un circuit électrique, qui comprend une pile P, le style L, la vis M, et le relai télégraphique de l'appareil récepteur, se trouve donc rompu, et l'appareil récepteur fonctionne.

Au lieu d'un relai télégraphique, on a figuré, en R, sur le dessin, un récepteur téléphonique. Ce récepteur reste muet lorsque les tuyaux sonores vibrent à l'unisson ; mais, s'il y a des battements, le récepteur téléphonique les reproduit avec une grande intensité. On peut utiliser le téléphone tout au moins pour régler la distance entre la vis de contact et le style d'argent.

Dans un premier type d'appareil, M. Hardy avait installé un microphone sur chacun des tuyaux sonores. Ces microphones étaient placés dans un circuit électrique où se trouvait également le récepteur téléphonique. On écoutait alors au téléphone le chant même des tuyaux, et les battements se produisaient dans l'oreille de l'auditeur. Le dispositif que nous avons décrit est bien préférable, parce qu'il permet à volonté, ou l'enregistrement des battements par un relai télégraphique, ou le comptage de ces mêmes battements par audition téléphonique.

La pile P (pile de ligne) doit être aussi constante que

possible. C'est la pile Callaud (trois éléments au sulfate de cuivre) qui a donné à M. Hardy les meilleurs résultats.

Dans l'appareil expérimenté au Conservatoire des Arts et Métiers, devant la Commission du Grisou, les tuyaux sonores étaient en bois, et les membranes des tubes acoustiques *dd* et du résonnateur N étaient en caoutchouc. Pour assurer un meilleur réglage des tuyaux et du résonnateur et pour supprimer la cause d'erreur provenant de l'endosmose gazeuse au travers du caoutchouc, M. Hardy se propose de remplacer les tuyaux de bois par des tuyaux métalliques, et les membranes de caoutchouc par des membranes métalliques plissées (semblables à celles des baromètres anéroïdes).

Le système chanteur tout entier (mo eur non compris) peut être contenu dans une boite en bois, de forme rectangulaire ayant pour dimensions : $0^m,25$, $0^m,40$ et $0^m,60$. Le moteur, qu'il vaut mieux (en raison des vibrations) ne pas mettre dans la même boîte, peut aisément tenir dans une deuxième caisse mesurant : $0^m,25$, $0^m,40$, $0^m,30$. Les deux boites seraient placées l'une à côté de l'autre, dans une niche de $0^m,80$ de hauteur, $0^m,40$ de profondeur et $0^m,60$ de largeur, ouverte dans l'une des parois de la galerie de mine.

Système récepteur ou enregistreur. — Le système récepteur, où chaque battement de l'appareil chanteur se traduit par une rupture du courant de ligne, *est placé au jour*, loin des bruits, de la poussière et de l'agitation de la mine.

Il peut consister dans un simple récepteur téléphonique R, que l'on place à l'oreille, qui reste muet lorsque les tuyaux sonores vibrent à l'unisson, et qui fait entendre un son criard à chaque battement. Il n'y a qu'à compter le nombre, par seconde, de ces cris du téléphone pour

savoir le nombre des battements du système chanteur, partant la teneur en grisou de l'air essayé.

On peut aussi *enregistrer* les battements au moyen d'un relai télégraphique disposé de la façon suivante.

Une horloge tire continuellement une bande de papier de 10 centimètres de largeur, à raison d'un déplacement de 2 millimètres et demi environ par cinq minutes.

Toutes les cinq minutes, l'un des mobiles de l'horloge donne un contact électrique qui dure exactement vingt secondes. Le courant électrique venant de l'appareil chanteur passe par ce contact avant d'arriver au relai. Il y a donc, toutes les cinq minutes, une période d'enregistrement des battements qui dure exactement vingt secondes.

Une pile locale, *commandée par le relai*, actionne un électro-aimant.

Chaque fois que, pendant la période de vingt secondes, le relai fonctionne, c'est-à-dire chaque fois qu'il se produit un battement dans l'appareil chanteur, l'électro-aimant devient actif, et, agissant sur un cliquet, fait avancer d'une dent une roue à rochet. Celle-ci communique, à l'aide d'un pignon, son mouvement à une autre roue dont l'axe porte une aiguille armée d'une molette encrée. La molette trace un arc de cercle sur la bande de papier en déposant un point à chacun des mouvements de l'aiguille, c'est-à-dire à chaque battement.

Lorsque le contact de vingt secondes produit par l'horloge arrive à sa fin, l'aiguille s'arrête, et, quelques secondes après, un débrayage spécial, commandé par l'horloge, permet à un petit contrepoids de ramener l'aiguille et sa molette au zéro. Tout est donc prêt pour la prochaine période d'enregistrement.

L'appareil enregistreur peut être placé sous une cage en verre bien fermée. Les dimensions de l'appareil qui fonctionne en ce moment au Conservatoire des Arts et

Métiers sont : 0m,35, 0m,65 et 1m,50. Mais la hauteur peut être réduite dans une large mesure en substituant une pendule à l'horloge à poids. La pile locale, qui doit être aussi constante que possible, est une pile Callaud au sulfate de cuivre, de huit éléments.

On peut monter en dérivation sur la ligne le récepteur téléphonique et le relai, et combiner ainsi l'audition des battements et leur enregistrement. Cette remarque a son importance si l'on suppose une mine pourvue de plusieurs appareils chanteurs et d'un seul appareil enregistreur. Ce dernier pourrait, au gré de l'ingénieur, être mis en rapport avec l'un quelconque des appareils chanteurs, sans que l'employé préposé à l'observation téléphonique pût savoir à quel moment son observation eût été ainsi contrôlée.

Expériences faites par la Commission du Grisou.

Ces expériences ont eu lieu au Conservatoire des Arts et Métiers et aux dates suivantes : 18 janvier, 12 et 29 février 1896. On s'est servi de gaz d'éclairage, et non de formène, mais il est clair que l'appareil, qui n'est qu'un comparateur de densités, doit être, à peu de chose près, aussi sensible pour le formène que pour le gaz d'éclairage.

On opérait le mélange du gaz d'éclairage et de l'air du laboratoire dans un petit gazomètre placé sur une cuve à eau, et dont la capacité suffisait largement à une des périodes de vingt secondes pendant lesquelles fonctionne le système enregistreur. La comparaison se faisait toujours avec l'air du laboratoire. On a vérifié, par une expérience directe, que la sensibilité de l'appareil n'allait point jusqu'à mettre en évidence la différence d'état hygrométrique de l'air pris directement dans le laboratoire et de l'air sortant du gazomètre.

La proportion d'acide carbonique étant la même dans les deux courants gazeux, on supprimait le flacon laveur à potasse, sauf dans les expériences spéciales où il s'agissait d'étudier l'influence de l'acide carbonique.

L'attention des membres de la Commission s'est portée tout spécialement sur l'appareil enregistreur. En comparant les expériences du 18 janvier à celles du 12 février, on a reconnu que la sensibilité de cet appareil dépendait, dans une très large mesure, de la régularité du courant de la pile de ligne. Le 18 janvier, la pile de ligne étant une pile Leclanché, la sensibilité de l'appareil était certainement inférieure à trois millièmes : c'est-à-dire que l'appareil n'indiquait la teneur en gaz d'éclairage du mélange gazeux qu'à trois ou quatre millièmes près. Le 12 février, la pile Leclanché ayant été remplacée par une pile Callaud au sulfate de cuivre, les indications de l'appareil sont devenues beaucoup plus régulières, et la sensibilité a été supérieure à deux millièmes.

L'observation à l'enregistreur se faisait de deux manières : en comptant le nombre des mouvements du cliquet qui détermine le mouvement de la roue à rochet, et en comptant le nombre des points tracés sur la bande de papier par la molette encrée. La comparaison de ces deux nombres a montré qu'ils étaient rarement égaux, le second surpassant le premier d'une unité, le plus souvent, et parfois de deux unités. La cause de ce désaccord réside dans la vivacité trop grande avec laquelle, au premier battement, la molette vient prendre contact avec la bande de papier. Au lieu d'un point unique, c'est deux points et quelquefois trois qui sont alors marqués par la molette.

En comparant les indications de l'enregistreur avec les résultats de l'audition au téléphone ou aux tubes acoustiques, on s'est aperçu d'une autre cause d'erreur de l'appareil enregistreur, à savoir : un retard au départ de l'aiguille qui porte la molette encrée. Il arrive très fré-

quemment que la molette ne vient au contact de la bande de papier qu'au deuxième, ou même au troisième battement ; d'où une erreur, insignifiante pour les teneurs élevées, mais très grave pour les teneurs très faibles. Ce retard au départ, dû à l'inertie des pièces qui commandent l'aiguille, ne peut s'expliquer que par un glissement des dents de l'un des engrenages. M. Hardy pense pouvoir, par un dispositif un peu différent, supprimer ce glissement et, par conséquent, cette cause d'erreur.

Mais il est un moyen de faire disparaître les deux erreurs que nous venons de signaler sans toucher à leurs causes. Il n'y a qu'à régler les tuyaux, non pas à l'unisson, mais avec un désaccord déterminé, c'est-à-dire avec une constante de battements. La teneur en hydrocarbure est alors donnée, dans chaque expérience, par la différence du nombre des battements observés et de la constante initiale. Les erreurs au départ s'éliminent d'elles-mêmes. La constance du nombre des battements fournit, d'ailleurs, du parfait réglage des tuyaux, un critérium autrement précis que la constatation, purement négative, de l'absence des battements.

C'est avec cette idée nouvelle qu'ont été faites les expériences du 29 février. Comme on pouvait s'y attendre, la sensibilité de l'appareil s'y est montrée bien plus grande que dans les deux premières séries d'expériences : *elle a été supérieure à un millième*.

Des expériences spéciales ont été faites pour se rendre compte de l'influence de la différence des températures des deux courants gazeux, ou de l'influence de leur inégale teneur en acide carbonique. Comme ce sont là les points sur lesquels ont insisté les deux ingénieurs qui ont fait la critique de la méthode Hardy, MM. Rateau et Couriot, il a semblé utile de ne point s'en tenir au contrôle indirect qui avait paru suffisant à la Commission de l'Académie des Sciences.

Pour la température, on a opéré de la façon suivante : les deux tuyaux ayant, au préalable, été réglés à l'unisson, on y a comparé, d'une part, l'air pris directement dans le laboratoire à la température ordinaire, et, d'autre part, ce même air du laboratoire, aspiré par un tube métallique dont une certaine portion était portée au rouge dans la flamme d'un bec Bunsen. On se plaçait ainsi dans des conditions beaucoup plus défavorables que celles de la pratique ; car, en supposant le système chanteur installé dans la mine, les différences des températures de l'air de la mine et de l'air *témoin* contenu dans l'enveloppe étanche seraient toujours très petites. Avec l'interposition du régulateur de température, les deux courants gazeux n'ont donné aucun battement, malgré la grande différence de leur température initiale. En enlevant le régulateur de température, il suffit, pour obtenir des battements distincts, de promener dans la flamme du bec Bunsen le tube métallique par lequel on fait passer, avant la soufflerie, l'un des deux courants gazeux. Le régulateur de température imaginé par M. Hardy est donc plus que suffisant, dans la pratique, pour écarter la cause d'erreur qui pourrait provenir de l'inégale température des deux gaz comparés.

Pour l'acide carbonique, on a comparé l'air du laboratoire à l'air sortant des poumons d'une personne adulte. Les deux tuyaux ayant été réglés à l'unisson, la comparaison a donné trente battements par période de vingt secondes, lorsque l'air des poumons ne traversait pas le flacon laveur à solution de potasse. En interposant, au contraire, ce flacon laveur sur le trajet de l'air des poumons, on supprimait les battements. L'interposition d'un seul flacon laveur suffirait donc pour purifier l'air de la mine de l'acide carbonique qu'il pourrait contenir : et il n'y aurait qu'à enfermer, dans l'enveloppe étanche, comme gaz témoin, un air débarrassé de son acide carbonique par le même procédé.

Il est d'ailleurs évident qu'avec l'emploi du flacon laveur l'air que l'on essaye est pratiquement porté à saturation. Il n'y a donc pas à se préoccuper de l'influence de l'inégale teneur en vapeur d'eau des deux gaz comparés ; il suffit que l'air témoin ait barboté, lui aussi, dans un flacon laveur, avant d'être enfermé dans son enveloppe étanche. M. Hardy a fait remarquer, ce qui est vrai, que rien ne serait plus facile que de dessécher les deux gaz: mais c'est là une complication inutile, et comme, eu égard à la sensibilité de l'appareil, il suffit d'une saturation approximative, mieux vaut s'en tenir à la saturation.

En résumé, sur ces trois points très importants, il n'est resté aucun doute dans l'esprit des membres de la Commission : l'appareil Hardy n'est influencé, d'une façon appréciable, ni par la différence de température des deux courants gazeux, ni par leur inégale teneur en acide carbonique, ni par la différence de leur état hygrométrique.

Cette question préjudicielle étant ainsi tranchée, les expériences de la Commission ont eu surtout pour objet la détermination de la sensibilité de l'appareil. Ces expériences ont été fort nombreuses et ont porté principalement sur de faibles teneurs en hydrocarbure (entre un et dix millièmes).

Nous ne donnerons pas ici les résultats des expériences du 18 janvier, parce que les essais ultérieurs ont démontré d'une façon péremptoire que lesdites expériences avaient été complètement faussées par une cause indépendante de l'appareil lui-même, l'irrégularité du courant de la pile de ligne. Voici les résultats des essais du 12 et du 29 février.

12 *Février. Tuyaux réglés à l'unisson.* — On compare à l'air du laboratoire des mélanges de ce même air et de gaz d'éclairage. Les nombres de battements sont relevés en observant les mouvements de la roue à rochet. Ils correspondent à une durée constante de vingt secondes.

Teneur en gaz d'éclairage.	Battements en 20 secondes.
0	0
1 millième	4
»	2
»	0
2 millièmes	8
»	10
»	8
20 millièmes	62
»	68
»	69
2 millièmes	9
»	7
»	6
3 millièmes	12
4 —	19
5 —	20
6 —	24
7 —	28
8 —	29
9 —	34
10 —	38
15 —	52

On voit que la sensibilité de l'appareil est comprise entre un millième et deux millièmes, quand on opère comme il a été dit, c'est-à-dire avec des tuyaux préalablement réglés à l'unisson. En portant les millièmes en abscisses et les nombres de battements en ordonnées, on obtient une courbe qui, pour les teneurs supérieures à huit millièmes, s'approche beaucoup d'une droite, mais qui est fort irrégulière pour les teneurs plus basses. Ces irrégularités s'expliquent très bien par les causes d'erreur que nous avons analysées plus haut, et qu'il est facile, comme nous allons voir, d'éliminer par l'introduction d'un désaccord systématique entre les deux tuyaux sonores.

29 *Février. Tuyaux réglés avec un désaccord connu.* — Le désaccord systématique était produit par une très

légère surcharge de l'un des deux régulateurs de pression. Pour une surcharge donnée, on obtenait, les deux tuyaux étant alimentés d'air pur, un certain nombre constant de battements, nombre que nous appellerons désormais *la constante*.

Il y a évidemment intérêt à prendre une constante assez forte, pour diminuer l'influence des erreurs de l'appareil. D'autre part, une constante trop élevée, outre qu'elle obligerait à augmenter la largeur de la bande de papier où s'inscrivent les battements, aurait l'inconvénient de donner un trop grand nombre de points, et, par conséquent, de rendre plus faciles les erreurs de comptage. L'expérience nous a montré que les valeurs les plus convenables de la constante sont comprises entre 15 et 25.

Il faut, bien entendu, que la surcharge de pression soit donnée dans un sens tel que le nombre des battements dus à la différence de densité des deux courants gazeux s'ajoute à la constante. C'est donc le régulateur de pression traversé par l'air mêlé d'hydrocarbure qui doit être surchargé.

Dans une première série d'expériences, nous avons vérifié que, pour une valeur donnée de la surcharge, le nombre de battements est bien une constante. La valeur moyenne de ce nombre étant 17, par exemple, on obtient quelquefois 18 battements, quelquefois 16, mais le plus souvent 17.

Quand on a fait une expérience avec de l'air mêlé d'hydrocarbure, puis que l'on revient à l'air pur, on constate qu'il faut cinq ou six essais consécutifs pour chasser les dernières traces du mélange hydrocarburé qui remplissait l'appareil; ce n'est qu'après ce lavage à l'air pur que la constante revient à sa valeur normale. M. Hardy a pensé que ce fait pouvait provenir de l'enveloppe du tuyau sonore, qui ne possède qu'une seule ouverture en son milieu, ouverture carrée de 20 sur 25 millimètres. On a

fait alors deux autres ouvertures rondes de 17 millimètres de diamètre, l'une en regard et un peu au-dessus de la lumière, l'autre sur le dessus de l'enveloppe. Cette modification de l'enveloppe a entraîné bien entendu, un nouveau réglage des tuyaux. Mais, la constante ayant été ramenée à sa valeur primitive par une modification convenable de la surcharge, on a constaté qu'après une expérience à l'air mêlé d'hydrocarbure, en revenant à l'air pur, il suffisait de deux essais de vingt secondes pour ramener la constante à sa valeur normale.

Pour rendre le réglage plus précis, M. Hardy a eu encore l'idée de modifier le volume du résonnateur ; on a alors obtenu ce résultat vraiment remarquable que, sur 31 expériences consécutives à l'air pur, pour une surcharge déterminée, le nombre des battements par vingt secondes a été :

22 fois égal à 17
5 fois égal à 16
4 fois égal à 18.

Voici maintenant les résultats des expériences exécutées sur des mélanges d'air et de gaz d'éclairage. Pour beaucoup de teneurs, il y a eu plusieurs expériences, et les résultats inscrits sont des moyennes. Les nombres de battements sont les nombres observés, diminués de 17, valeur de la constante.

Teneur en gaz d'éclairage.	Battements en 20 secondes.
0	0
1 millième	3
2 millièmes	9
3 —	14
4 —	17
5 —	19
6 —	24
7 —	26
8 —	28
9 —	32
10 —	37
15 —	51
20 —	62

La courbe construite avec ces résultats est beaucoup plus régulière que celle qui résulte des expériences du 12 février. Elle est très voisine de la droite :

$$y = \frac{N}{2}(1 - d)x.$$

En comparant nos propres expériences à la série, extrêmement nombreuse, de celles qui ont été faites, dans les mêmes conditions, par M. Hardy, nous avons vérifié que l'introduction de la constante a notablement augmenté la sensibilité de l'appareil. Les tuyaux étant bien réglés, c'est-à-dire la constante étant bien connue, l'appareil Hardy indique la teneur en gaz d'éclairage avec une approximation supérieure à un millième. *On peut donc penser qu'il indiquerait à un millième près, environ, la teneur en grisou d'une atmosphère de mine.*

Le forménophone Hardy considéré comme appareil de mine.

Après tout ce qu'on vient de lire, et après les éloges que l'Académie des Sciences a décernés à l'inventeur, il

est inutile d'insister sur l'intérêt que présente, au point de vue théorique, la méthode Hardy, et sur l'extrême ingéniosité que suppose, chez son auteur, la construction d'un appareil aussi sensible et aussi précis. Si une mine était un laboratoire, le forménophone devrait, à coup sûr, y avoir sa place. Il nous reste à voir si, les mines étant ce qu'elles sont, l'appareil Hardy peut y rendre des services ; si ces services ne seront pas achetés au prix d'une trop grande dépense ou d'une trop grande sujétion ; en un mot si l'appareil est pratique.

Et d'abord, dans quelles parties de la mine le forménophone pourrait-il être installé ?

Tel qu'il est actuellement, avec les dimensions des soufflerie et des tuyaux sonores, avec la nécessité de placer le petit moteur dans une boîte spéciale, et d'envoyer à ce moteur de l'air comprimé ou de l'eau sous pression, l'appareil n'est point portatif ; on ne peut même pas dire qu'il soit *aisément transportable*. Ce n'est point un appareil de chantier. On ne pourrait l'installer qu'en des postes à peu près fixes, où il fût à l'abri des chocs, où il ne gênât pas les manœuvres et où son installation fût, sinon tout à fait définitive, au moins destinée à durer longtemps. Ces postes fixes, ou à peu près fixes, seraient donc choisis, ou sur le retour d'air général, ou sur des retours d'air particuliers venant de quartiers grisouteux. Dans un cas comme dans l'autre, on installerait le forménophone dans une niche ouverte sur le côté de la galerie, et il aspirerait l'air de la galerie par un tube en caoutchouc, ou mieux par une série de tubes de caoutchouc ramifiés, aboutissant en divers points du profil. Par ce dernier dispositif, on éviterait de puiser toujours au même filet du courant d'air. Le tube d'aspiration unique ne serait employé que lorsque l'on aurait, au préalable, vérifié que la teneur en grisou est sensiblement la même en tous les points du profil, ou tout au moins lorsque l'on aurait déterminé les points du profil

où la teneur en grisou est vraiment la teneur moyenne du courant d'air. Par parenthèse, nous ferons remarquer que cette étude serait bien intéressante, et qu'aucun appareil ne serait plus commode que l'appareil Hardy pour la mener à bonne fin.

Les indications du forménophone ainsi placé seraient reçues au jour, soit à un récepteur téléphonique qu'un employé serait, de temps à autre, chargé d'écouter, soit à un appareil enregistreur placé dans le bureau de l'ingénieur. M. Hardy préconise, comme nous l'avons déjà dit, l'emploi de plusieurs forménophones placés en divers points de la mine et sur les circuits électriques desquels on pourrait placer en dérivation, successivement et quand on voudrait, un appareil enregistreur unique. L'enregistreur contrôlerait ainsi l'employé chargé de l'audition téléphonique, sans que cet employé pût se douter de ce contrôle.

Tels sont les services que pourrait rendre l'appareil Hardy. Aux points les plus intéressants de la mine, on saurait, grâce à lui, à toute heure de jour et de nuit, quelle est, *à un millième près*, la teneur en grisou du courant d'air, et cela, sans descendre dans la mine, sans faire aucune prise d'air, sans faire aucune analyse, par une simple audition de vingt secondes au téléphone. Et, si on le désirait, cette teneur en grisou s'enregistrerait d'elle-même à des intervalles déterminés. On aurait ainsi, suivant les termes du rapport de la Commission de l'Académie des Sciences, « l'avantage de constituer des documents per-« manents, d'une sincérité incontestable, utiles, non seu-« lement à la surveillance de l'exploitation, mais encore « à l'étude des causes influant sur le dégagement du « grisou, et qui permettraient d'établir ou d'infirmer cer-« taines corrélations sur lesquelles les opinions sont « encore contradictoires ». C'est là, il faut l'avouer, une perspective très séduisante.

Nous croyons, d'ailleurs, et cette remarque peut s'appliquer à toutes les méthodes de contrôle, que l'étude des retours d'air particuliers serait bien plus utile que celle du retour d'air général. Dans la plupart des mines un peu étendues, sauf les rares perturbations accidentelles qu'il n'y a pas intérêt à enregistrer (comme celles qui résultent d'un effondrement du toit sur de grandes étendues de vieux travaux), la teneur en grisou du retour d'air général varie extrêmement peu. Il serait bien inutile de la déterminer et de l'enregistrer à des intervalles très rapprochés ; et, dans la plupart des cas, l'on peut se contenter de la déterminer tous les jours, ou même seulement tous les huit jours, à la lampe Chesneau, ou par la méthode des limites d'inflammabilité. C'est donc, suivant nous, dans l'intérieur même de la mine, en certains points spéciaux des retours d'air très grisouteux, qu'il conviendrait plutôt d'installer le forménophone.

Mais le forménophone est-il vraiment pratique? c'est-à-dire est-il vraiment capable de rendre les services que nous venons de spécifier, de les rendre pendant longtemps, et sans de trop grandes dépenses, et sans une trop grande sujétion ? C'est là la question qui nous reste à examiner.

La sensibilité de l'appareil (très grande, comme nous l'avons vu, après un réglage minutieux et attentif dans le laboratoire) suppose essentiellement les conditions suivantes : *le réglage rigoureux* des deux tuyaux, c'est-à-dire *la connaissance exacte* de la constante de battements ; la constance de la pile de ligne ; le réglage de la distance du style d'argent et de la vis de contact ; la propreté des surfaces du style et de la vis qui viennent au contact ; la propreté relative de la membrane du résonnateur, des ouvertures de l'enveloppe du tuyau à air grisouteux, et de la lumière de ce tuyau ; la pureté de l'air témoin ; enfin le bon état de l'appareil enregistreur.

Cette dernière condition nous semble la plus facile à réaliser, car l'enregistreur serait enfermé dans une cage

en verre, à l'abri de la poussière et des mains inexpérimentées, et l'on cite des appareils analogues qui marchent régulièrement pendant des années sans exiger la moindre réparation.

Mais il est évident que les autres conditions ne resteraient pas longtemps réalisées *dans la mine ;* que les tuyaux, bien que métalliques, se dérégleraient assez vite ; que l'attaque de la ligne par l'air chaud ou par les eaux acides ferait varier l'intensité du courant de la pile ; que le style et la vis, altérés, l'un par l'hydrogène sulfuré, l'autre par l'oxydation, et secoués, d'ailleurs, par des vibrations très fréquemment répétées, ne demeureraient pas dans l'état voulu pour le réglage ; que les surfaces du style et de la vis se terniraient rapidement, offrant ainsi au passage du courant une résistance croissante ; que la membrane du résonnateur se chargerait très vite d'une couche de poussière et que, en rétrécissant les ouvertures, la poussière ferait varier la hauteur du son rendu par le tuyau à air grisouteux ; qu'enfin l'air *témoin* se chargerait peu à peu de grisou par endosmose.

Il faudrait donc très souvent, et, sans doute, plusieurs fois par mois, remonter l'appareil chanteur au jour pour le remettre en bon état et le régler à nouveau. Cette remise en état et ce réglage ne pourraient, d'ailleurs, être confiés qu'à un agent instruit, intelligent et sûr. Pour être convaincu de la nécessité de très bien choisir cet agent, on n'a qu'à remarquer que l'appareil doit être réglé *à la température même du point de la mine où il sera placé.*

Négliger cette surveillance rigoureuse et ce réglage périodique de l'appareil chanteur, ce serait diminuer la sensibilité de la méthode dans une proportion inconnue. Or, toute indication que l'on enregistre, et qui reçoit, par là même, un caractère en quelque sorte officiel et définitif, doit être absolument sûre. Si l'on doute de son exactitude, il vaut mieux ne pas l'enregistrer.

Il faut ajouter les accidents inévitables : les chocs qui peuvent détériorer un appareil délicat, et qui sont toujours à prévoir dans le transport à travers les galeries ou dans le passage aux recettes ; les ruptures du circuit électrique ; les fuites de la conduite d'air comprimé, ou d'eau sous pression, alimentant le petit moteur. Il faut ajouter encore la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, de réparer sur place l'appareil chanteur, dans le cas où il aurait été endommagé ; et enfin le haut prix de l'appareil. Il faut aussi tenir compte de cette considération que l'installation du forménophone dans une mine s'ajouterait à toutes les installations déjà faites, à toutes les mesures déjà prises pour la surveillance du grisou, sans permettre la suppression d'aucune de ces installations, d'aucune de ces mesures. Après, comme avant, il faudrait des contrôles à la lampe Chesneau, et des prises d'air, et des analyses, puisque le forménophone ne pourrait pas aller partout. On voit donc que l'adoption du forménophone n'irait pas sans entraîner d'assez fortes dépenses, même si l'on se contentait d'un seul appareil, et sans créer une assez grande sujétion.

Malgré toutes ces objections, nous n'hésiterions pas à recommander l'emploi du forménophone, si l'on ne possédait pas des moyens très simples, très pratiques et en même temps très rigoureux de dosage du grisou. La plupart des mines françaises font un usage journalier de la lampe Chesneau et de l'appareil de dosage par les limites d'inflammabilité ; elles sont donc en état d'étudier, de la façon la plus précise et la plus détaillée, les variations de la teneur en grisou aux points intéressants des retours d'air. Comme nous le disions tout à l'heure, c'est dans la possibilité d'un enregistrement de ces variations que réside vraiment la supériorité de la méthode Hardy. Mais encore ne faut-il pas s'exagérer l'importance de cet enregistrement. Ce que nous avons dit plus haut du retour d'air

général peut se dire dans une certaine mesure aussi des retours d'air particuliers ; la teneur en grisou n'y est pas assez rapidement variable pour qu'il soit intéressant de l'enregistrer à des intervalles rapprochés. Quatre ou cinq analyses par jour suffiraient amplement dans la plupart des cas. Et là où la teneur en grisou est vraiment variable, et où l'enregistrement de ses variations serait d'un haut intérêt, c'est dans les chantiers, où, malheureusement, le forménophone, tel qu'il est, ne peut pas être introduit.

Nous concluons donc que le forménophone est un excellent et très curieux appareil de laboratoire, qu'il est imaginé et construit avec la plus grande ingéniosité, qu'il est réellement capable, *quand il est en très bon état et très bien réglé*, de donner, *à un millième près*, la teneur en grisou de l'air d'un point de la mine et d'enregistrer cette teneur ; qu'ainsi, et bien qu'il ne soit pas portatif, il rendra peut-être de bons services si on l'installe en certains points spéciaux de la mine où l'on a un intérêt majeur à connaître la composition du courant d'air.

Mais c'est un appareil délicat et sujet à se dérégler. Il faudra le remonter souvent au jour pour le régler à nouveau et le remettre en état. S'il est déréglé, ses indications perdent toute leur valeur, et l'on ne sera pas averti de son défaut de réglage. Il coûte cher. Son emploi ne supprimera pas les analyses, ni les contrôles à la lampe Chesneau, puisqu'il ne pourra pas être porté aux chantiers.

Nous estimons, en conséquence, que, s'il y a lieu de signaler ce remarquable appareil à l'attention des Compagnies de mines, il ne convient pas, pour le moment du moins et avant que des essais aient été faits dans les conditions mêmes de la pratique, de leur en recommander l'emploi.

II. — AVIS DE LA COMMISSION DU GRISOU.

La Commission, après avoir entendu la lecture du rapport de M. Termier, et en avoir délibéré ;

Rendant hommage à l'extrême ingéniosité de l'inventeur, qui est parvenu à fonder, sur le principe des battements sonores, une méthode d'analyse de mélanges gazeux susceptible de fournir des résultats très précis, pouvant être enregistrés automatiquement ;

Considérant, d'autre part, que le forménophone de M. Hardy, basé sur cette méthode, comporte des organes trop délicats pour qu'on puisse le transporter dans toutes les parties d'une mine, et que, dans son état actuel, il ne peut être établi qu'à poste fixe, en des points spécialement aménagés à cet effet, dans les retours d'air, où les variations de la teneur en grisou sont, d'ailleurs, généralement faibles, ce qui diminue l'intérêt de l'enregistrement de cette teneur par le forménophone ; qu'en tout cas, cet appareil ne saurait, en aucune façon, suppléer les lampes grisoumétriques, employées déjà dans toutes les mines, permettant d'obtenir immédiatement la teneur en gaz dans un quartier quelconque, et notamment d'explorer les chantiers avant le tirage des coups de mine ;

Qu'il est à craindre que les indications fournies par le forménophone ne soient rapidement faussées par des dérangements dans ses organes, inhérents aux conditions où il se trouvera placé dans la mine : altération des parties métalliques par l'air vicié ou les eaux acides des galeries, dépôt de poussière sur les membranes de l'appareil, modification par endosmose de la composition de l'air servant de témoin, etc. ; que l'on ne sera jamais averti de ces perturbations par l'appareil lui-même ; et que, par suite, on ne sera nullement dispensé de contrôler constam-

ment ses indications par des analyses de laboratoire faites sur l'air prélevé au voisinage du forménophone dans la mine ;

Que tout déréglage de l'appareil exigera sa remontée au jour, qu'il en résultera une sujétion permanente tolérable seulement dans un laboratoire bien outillé, et peu compatible avec la simplicité des moyens employés dans les mines ; que la surveillance du forménophone exigera le concours de spécialistes habiles, alors que le dosage continu du grisou, devenu aujourd'hui obligatoire dans les mines, s'y fait d'une façon très suivie et très complète, au moyen d'appareils simples, peu coûteux et suffisamment précis ;

Que, dès lors, le forménophone, d'un prix d'ailleurs très élevé (tout au moins en ce qui concerne l'appareil d'études dont les organes sont encore très complexes), ne pourrait guère trouver d'application que dans des recherches spéciales entreprises dans un but purement scientifique, et viendrait s'ajouter simplement, sans les suppléer ni les renforcer d'une manière sérieuse, aux nombreuses mesures *pratiques* de sécurité en usage courant dans les mines grisouteuses ;

Considérant, d'ailleurs, que, en poursuivant la réalisation d'un densimètre à gaz, basé sur le principe des battements sonores, M. Hardy a été conduit à imaginer des dispositifs éliminant d'une façon complète les causes d'erreur constamment relevées par la Commission dans les nombreux densimètres qui lui ont été soumis jusqu'à ce jour, et tenant à la différence de température, d'humidité et de teneur en acide carbonique, entre l'air pur servant de témoin et l'air grisouteux à analyser, ainsi qu'aux poussières ; que ces dispositifs pourraient trouver un emploi judicieux dans les densimètres utilisant un principe autre que celui des battements sonores, et qu'il convient, par suite, de faire ressortir, dès à présent, la part

incontestable de M. Hardy dans ces perfectionnements ;

Adoptant intégralement les conclusions de M. le rapporteur Termier ;

Est d'avis qu'il y a lieu de signaler l'appareil de M. Hardy à l'attention des Compagnies houillères, mais qu'il ne saurait convenir de leur en recommander l'emploi, en l'absence d'essais faits dans les conditions du service courant, qui, seuls, pourraient donner la mesure de la confiance que l'on doit accorder aux indications du forménophone et de son utilité pratique ;

La Commission émet, en outre, le vœu que le rapport de M. Termier et le présent avis soient insérés aux *Annales des Mines*.

III. — NOTE ADDITIONNELLE.

Postérieurement à la clôture du rapport de M. Termier, M. Hardy, après avoir pris connaissance de l'avis de la Commission du Grisou, lui a soumis un certain nombre de perfectionnements du forménophone, en vue de répondre à quelques-unes des objections formulées dans cet avis par la Commission.

Pour obvier à la critique concernant l'absence d'indication par l'appareil lui-même d'un déréglage dans l'accord des tuyaux sonores, M. Hardy propose le dispositif suivant.

Si la soufflerie, envoyant l'air dans les tuyaux sonores, est actionnée par un moteur à air comprimé provenant de la surface, on peut faire commander par ce moteur un robinet à deux voies disposé de telle manière que, au moment où l'horloge de l'enregistreur débraye le moteur de la soufflerie par déclenchement électrique, la soufflerie puise dans la conduite d'air comprimé, pendant deux minutes par exemple, de l'air pur qui est envoyé dans le

tuyau sonore destiné à être alimenté normalement par l'air de la mine. Pendant ces deux minutes, les tuyaux sonores parlent donc tous deux avec de l'air pur, et, après la première minute de mise en marche, l'enregistreur inscrit le nombre de battements correspondant à l'air pur, actionnant les deux tuyaux de l'appareil chanteur; il donne donc le désaccord initial entre les deux tubes, qui resterait constant si aucune variation ultérieure ne se produisait dans le réglage des tuyaux sonores. Quelque temps après la fin de cette observation, le moteur fait tourner le robinet à deux voies, qui donne alors accès à l'air de la mine, et, au bout d'une minute, quand celui-ci a complètement balayé l'air pur contenu dans la soufflerie, l'enregistreur procède à une nouvelle observation qui donne, cette fois, le nombre de battements correspondant à l'air grisouteux de la mine. Après cette observation, le moteur remet le robinet dans sa position première en correspondance avec l'air pur et s'arrête.

On reçoit donc, sur la bande de papier de l'enregistreur, une suite d'observations doubles faites à trois minutes d'intervalle, et espacées, par exemple, d'une demi-heure entre elles, l'une faite avec de l'air pur, l'autre avec le mélange gazeux de la mine: d'après l'exposé du rapport précédent, la différence entre les deux nombres de battements de chaque observation donne la teneur exacte en grisou, même si le désaccord initial des deux tuyaux sonores, alimentés d'air pur, vient à se modifier.

Si la mine ne possède pas de conduite d'air comprimé, on puisera l'air pur, nécessaire à ce contrôle, dans un récipient spécial d'air comprimé, d'une capacité suffisante pour pouvoir servir pendant une semaine environ.

En outre, pour obvier au déréglage par endosmose de formène dans l'enveloppe étanche de l'air pur servant de témoin, M. Hardy se propose de remplacer les membranes en caoutchouc par des parois métalliques minces, semblables à celles des baromètres anéroïdes ; et, pour empêcher les poussières d'alourdir les parois vibrantes et de salir l'appareil, il annonce l'intention de renfermer tous les organes de l'appareil chanteur dans une boite étanche, traversée seulement par les tubes d'entrée et de sortie des gaz.

La Commission, après avoir pris connaissance des nouvelles modifications que M. Hardy se propose d'introduire dans le forménophone, a émis l'avis que le contrôle permanent du réglage de l'appareil chanteur par de l'air pur puisé, soit dans la conduite d'air comprimé actionnant les soufflerie, soit dans un réservoir spécial, renouvelé de temps en temps, joint à la substitution de parois métalliques aux membranes de caoutchouc de l'appareil chanteur et à l'introduction de celui-ci dans une caisse étanche, répond théoriquement à l'objection concernant l'incertitude sur le maintien du réglage de l'appareil, en ce qui concerne spécialement les modifications dans la composition de l'air et dans le réglage des tuyaux chanteurs. Mais il n'est pas douteux que la réalisation de ce contrôle ajoutera encore à la complexité des organes du forménophone, augmentera les chances de dérangement et accentuera encore le caractère d'appareil de recherches purement scientifiques, déjà signalé par la Commission.

La Commission estime donc que les modifications proposées par M. Hardy rendent des essais, faits dans les mines, encore plus nécessaires pour mettre à même de se prononcer sur la valeur pratique de l'appareil ainsi complété, et elle ne peut, en conséquence, que se référer à la solution par elle proposée, comme suite aux considérants développés dans son avis.

NOTE

SUR

LA GRANDE COUCHE DE VILLARS

ET

LA FAILLE DE LA RÉPUBLIQUE

DU BASSIN HOUILLER DE SAINT-ÉTIENNE

Par M. COSTE, Ingénieur au Corps des Mines.

Dans l'avant-propos de la description du bassin houiller de la Loire, M. l'Inspecteur général des Mines Gruner a indiqué que son premier travail, entièrement terminé dès 1860, dut être remis à jour d'abord en 1867, puis en 1879-81, pour tenir compte du développement des travaux souterrains qui permettait d'élucider diverses questions douteuses lors de la première rédaction. Quinze ans se sont maintenant écoulés depuis cette dernière remise à jour. Le déhouillement régulier de diverses couches, ainsi qu'un certain nombre de recherches, permet, je crois, d'éclaircir certains points intéressants.

J'ai été conduit à étudier, plus spécialement à ce point de vue, les travaux exécutés ces dernières années dans le district de Villars, et c'est du résultat de cette étude que je me propose de rendre compte ici.

La Grande Couche de Villars, dont les affleurements sont connus depuis Villars même (Voir Plan n° I, Pl. XVI), jusqu'au Cluzel, tout le long de la rive droite du ruisseau de Rio-de-Lay, a été considérée, dans la description du bassin

houiller de la Loire, comme étant la 8e couche du bassin de Saint-Étienne.

Pour expliquer sa position par rapport à celle que cette 8e couche occupe, aussi bien au Puits des Rosiers que dans les travaux de Montaud, il a fallu admettre l'existence d'une faille importante, dite faille de Côte-Chaude, orientée du Sud-Ouest au Nord-Est, et plongeant vers le Nord. Cette faille, dont l'importance devait être d'environ 200 mètres au Cluzel (p. 309) (*), devrait aller en décroissant en se rapprochant de Montaud (p. 308). Elle aurait pour effet de rejeter en contre-bas toute la partie du terrain houiller sur laquelle s'étendent les concessions de la Chana et de Villars et une partie de celle du Cluzel, au Sud, tout au moins, de la grande faille du Puits Beaunier, ou faille Sainte-Catherine.

Cette classification réserve à tout le district de Villars un grand avenir, car on est en droit de supposer que l'horizon de la 13e couche et celui de la 15e existent aussi dans ce district, puisque ces horizons sont connus à peu de distance de là, aussi bien dans la concession du Cluzel (P. Rambaud), que dans la concession du Treuil (P. du Treuil), pour la 13e, et que dans les concessions de Villars et de la Chana, pour la 15e, aux puits de la Doa et Saint-André (au mur de la faille du Puits Beaunier).

Cette classification conduit à une autre conclusion.

La grande faille qui coupe au Nord de Saint-Étienne tout le bassin houiller et que l'on a reconnue par les travaux souterrains sur une longueur de près de 8 kilomètres, depuis Reveux jusqu'au-delà de Villars, faille qui porte successivement, sur l'atlas du bassin houiller de la Loire, les noms de faille de la République, faille du Bois-Monzil, ou gradin de la faille du Furens, faille du Puits Beaunier

(*) Voir *Description du bassin houiller de la Loire*, 2e partie, p. 309. Même observation pour les autres renvois.

ou du Furens, faille Sainte-Catherine, doit présenter un rejet de plus en plus grand, en allant de l'Est à l'Ouest. L'amplitude de cette faille qui, d'après M. Gruner, serait déjà de 655 mètres, sous le Furens, après sa jonction avec la faille du Soleil, serait de plus de 750 mètres, en face du Puits de la Chana, avant qu'elle ne se réunisse à la faille du Furens, et augmenterait, par suite, encore plus à l'Ouest.

On ne connait au mur de cette faille que les affleurements du faisceau de la 15e, sous lesquels se trouve l'étage stérile de Saint-Chamond. On est donc en droit de penser que plus on s'avance vers l'Ouest, plus il doit être facile, en profitant de l'importance de cette faille, de retrouver l'étage de Rive-de-Gier, dans lequel on peut espérer trouver, sinon la prolongation de la Grande Couche de Rive-de-Gier, du moins des richesses houillères contemporaines.

Le développement actuel des travaux permet, je crois, de montrer que la Grande Couche de Villars n'est pas la 8e, mais bien la 13e du bassin de Saint-Étienne, et que l'importance du rejet de la faille de la République est loin d'être aussi considérable que je l'indiquais plus haut dans la partie occidentale du bassin houiller de la Loire. C'est ce que je vais essayer de montrer ici. On peut se reporter pour tout ce qui va suivre aux feuilles de l'atlas de la description du bassin houiller de la Loire, et notamment aux planches IX, XII et XIII. Mais j'ai indiqué sur le plan n° I, Pl. XVI, les principales indications de ces planches, et notamment les directions générales des failles de la République, de Sainte-Catherine, de Côte-Chaude. Le plan n° II, Pl. XVII, indique, au contraire, avec détail, les résultats des travaux souterrains dans la région comprise entre les Puits de la Chana et du Treuil.

La 8e Couche à l'Est du Furens. — La composition de

la 8e couche dans la région des Puits du Treuil et de la Pompe est trop connue pour que j'aie à y insister. On sait qu'elle était formée de deux bancs, le banc du Mur, qui mesurait 3m,25 et 3m,50, aux Puits du Treuil et de la Pompe, et la Crue, au toit, mesurant dans ces puits 1m,75 et 2m,40. Le nerf qui séparait ces deux couches n'avait que 1 mètre et 1m,50 d'épaisseur. La coupe que je donne (*fig.* 1, Pl. XVI) pour le Puits de la Pompe diffère un peu de celle qui précède; elle provient de l'ouvrage de M. Gruner et correspond à une zone où la Grande Couche est encore plus épaisse.

Le nom même de la Crue indique assez quelle était la nature du charbon de cette couche. La Grande Couche, au contraire, donnait des charbons gras ordinaires et du charbon à coke. On avait aisément au Treuil des tout-venants à 10-12 p. 100 de cendres et à 27-28 p. 100 de matières volatiles. Les charbons étaient, d'autre part, très peu sulfureux. (Gruner, p. 105.)

Si on se dirige du Puits du Treuil, vers le Nord et le Nord-Ouest, on voit l'intervalle entre les deux couches augmenter ; en même temps, la Grande Couche diminue d'épaisseur. Elle ne mesure plus que 2m,40 au Puits de la Manufacture, et encore la partie inférieure de la Couche est-elle uniquement formée par de la moure (0m,40), et 3m,50 au Puits Avril, de la concession du quartier Gaillard. La Crue est à la Manufacture à 8m,40, au toit de la Grande Couche ; elle est à 9m,80 de celle-ci au Puits Avril ; au Puits des Mottetières, enfin, on ne la trouve plus qu'à 30 mètres, au toit de la Grande huitième. Enfin, la Crue diminue d'épaisseur, et sa composition varie en marchant dans le même sens. Elle est représentée par deux bancs de 1m,05 et de 1m,66 au Puits de la Manufacture ; le banc supérieur, de 1m,66, étant lui-même divisé en 3 bancs, représentant une épaisseur totale de charbon de 1m,10. Au Puits Avril, elle se compose de 2 bancs de 0m,65

et 0m,35, séparés par un entre-deux de 0m,50 environ. Enfin, au Puits des Mottetières, elle n'est plus représentée que par une épaisseur totale de 1 mètre de gores avec planches de charbon intercalées.

La qualité des charbons de 8e couche s'altère aussi beaucoup en allant vers le Nord et le Nord-Ouest. Dans la région des Mottetières, où s'est achevée, ces dernières années, l'exploitation de la 8e dans la concession du Treuil, on n'avait plus que des charbons assez schisteux, souvent friables, ne donnant que peu de tout-venant (15 à 20 p. 100 au plus) et encore des tout-venants fort sales (15 à 17 p. 100 de cendres). Le reste était uniquement constitué par des charbons sales, à laver, ou par des crus.

Je ne puis donner de chiffres analogues pour la 8e du Puits Avril, dont l'exploitation est arrêtée depuis 1884 ; mais ses charbons n'ont jamais eu, à Saint-Étienne, la réputation d'être bien propres. Ils correspondaient tout à fait, je crois, surtout vers l'amont, à ceux de la région des Mottetières.

Le déhouillement régulier de la 8e, dans la région des Mottetières, a montré que la couche se redressait de plus en plus, à mesure que l'on s'approchait de la faille de la République; tandis que, dans la région du Puits du Marais, cette couche vient buter à la faille aux abords de la cote 335-340, elle ne la rencontre le long de la limite Nord de la concession du Treuil, à 300 mètres du sommet commun des quatre concessions du quartier Gaillard, du Treuil, du Cros et de la Chana, qu'à la cote de 425 mètres. Si l'on admet que l'allure de cette couche se maintient dans les concessions du Cros, puis dans celle de la Chana, on doit en conclure que la 8e y atteint des cotes de plus en plus élevées et qu'elle chevauche, par suite, sur la 15e du Puits des Chaux et de l'Etivallière, située au mur de la faille de la République. L'intersection de cette faille avec la 8e devrait couper la limite des concessions du Cros et

de la Chana, à 200 mètres environ au Nord du sommet des quatre concessions dont il a été précédemment parlé.

L'importance de la faille du Marais, qui n'est qu'une bifurcation de la faille du Soleil, diminue de plus en plus, à mesure que l'on s'avance vers l'Ouest. Le long de la limite des concessions du Treuil et du quartier Gaillard, cette faille, si importante en face du Puits du Marais, où elle déplace la 8e de 200 mètres, ne correspond plus qu'à un rejet de quelques mètres.

Dans toute la zone où s'est produit l'empiètement de Montaud, il est aisé de raccorder les plans de la 8e dans les concessions du Treuil et de quartier Gaillard. Il n'en est plus de même plus au Nord. — Au sommet commun des 4 concessions, par exemple, la 8e du Treuil se trouve à la cote 380 ; elle ne serait, d'après les plans de Montaud, qui ont servi à faire l'atlas de la description du bassin houiller de la Loire, qu'à la cote 360.

C'est ce que j'ai cherché à montrer en figurant sur le plan d'ensemble les horizontales de la 8e couche, d'après l'atlas de M. Gruner, à l'ouest du Furens et, d'après les plans de la Manufacture, à l'est de ce ruisseau.

De plus, l'allure des courbes de niveau diffère absolument d'une concession à l'autre. On est donc en droit de se demander si, le long de la concession de la Chana, les plans de Montaud ne sont pas aussi peu exacts qu'ils l'étaient le long de la limite du Furens. Par suite, l'allure de la 8e de Montaud, telle qu'elle résulte de l'atlas de M. Gruner, est peut-être sujette à caution vers l'amont.

Il est, d'ailleurs, bien certain que, de ce côté, les travaux de la grande 8e se sont étendus jusqu'à la concession de la Chana, si tant est qu'ils n'y aient pas pénétré ; quant à la 8e du toit, elle est devenue beaucoup trop schisteuse pour avoir même pu être exploitée jusqu'à cette limite.

En 1895, le Puits de la Manufacture a été foncé jusqu'à la 12e couche. Il a recoupé à 166 mètres, au mur de la 8e,

les couches 10 et 11, mesurant 1 mètre et 0m,55, et séparées l'une de l'autre par un nerf de gore noir de 0m,05 d'épaisseur. 20 mètres plus bas, il trouvait la 12e couche, (épaisseur: 1 mètre). Le Puits de la Pompe n'avait recoupé ces couches qu'à 190 et 210 mètres au mur de la 8e. Elles y mesuraient 2m,25 et 1m,30 d'épaisseur. Ce rapprochement de la 8e du faisceau inférieur est peut-être dû, en partie au moins, à un accident, qui parait avoir recoupé le Puits de la Manufacture à 90 mètres environ au mur de la 8e (Voir *fig.* 2, Pl. XVI).

Quant à la 9e, qui a toujours été, jusqu'à présent, considérée comme inexploitable au Treuil, elle parait pouvoir correspondre à une petite couche de houille recoupée à 105 mètres au mur de la 8e.

La coupe du Puits de la Manufacture et celle du Puits de la Pompe montrent donc combien, dans son ensemble, au moins, la composition du terrain houiller varie peu entre ces deux points, distants de plus de 800 mètres.

La 8e Couche à l'Ouest du Furens. — A l'Ouest du Furens et au toit par conséquent de la Faille du Furens, la 8e est connue à Chatelus et aux Roziers. Je ne parle pas du Puits de la Loire, où elle a dû être recoupée dans une faille et où elle est, par conséquent, encore mal connue. A mesure que l'on s'avance du Sud au Nord, on constate encore ici un phénomène analogue à celui que je signalais précédemment : le nerf qui sépare la Crue et la Grande Couche augmente régulièrement et devient de plus en plus pierreux. De même, la Crue devient de plus en plus médiocre, en s'avançant au Nord ; elle devient à peu près inexploitable au Nord du Puits des Roziers. Les travaux ont été poursuivis en 8e entre les cotes 300 et 400, jusqu'à près de 600 mètres au Nord de la ligne reliant les Puits des Roziers et Rambaud. L'épaisseur de la 8e du mur était de 3 mètres à 3m,50. Au delà, on a rencontré des accidents montants dans lesquels il n'a encore été fait que des recherches insuffisantes. Mais, jusqu'à présent, de ce côté, on n'a encore rien trouvé qui pût correspondre au passage de la faille de Côte-Chaude, laquelle devrait rejeter les couches en profondeur, quand on se dirige du Sud au Nord.

Grande Couche de Villars. — Les affleurements de la Grande Couche de Villars sont connus le long de la vallée du Cluzel depuis Villars jusqu'au Cluzel même. Je ne parlerai ici que des travaux faits dans cette Couche par le Puits Neuf de la Chana, en se dirigeant soit du côté de Montaud, soit du côté du Puits des Roziers.

Le Puits neuf de la Chana a recoupé aux abords de la recette de 370 mètres de profondeur une faille qui donne en ce point un rejet de 150 mètres environ ; elle correspond exactement comme position et comme importance à la faille du Furens, qui a limité vers l'Ouest les travaux de la 8e de Montaud, faille du Furens dont l'amplitude était évaluée par M. Gruner, à moins de 200 mètres (p. 316); je la désignerai donc sous le nom de faille du Furens. Les travaux de grande couche dans le lambeau de la fendue de Villars montrent bien le point où elle se soude à la grande faille du Puits Beaunier.

La grande couche a été reconnue et exploitée au mur de cette faille, dans le quartier Est, et explorée au toit de la même faille par une série de descentes attaquées dans le lambeau de couche où l'on a tracé la fendue de Villars. Vers l'Est, les dépilages du quartier Est ont buté sur une certaine longueur (cote 200) au grand accident qui les sépare du Puits de la Doa (faille de la République, ou faille du Bois-Monzil, ou faille du Puits Beaunier).

Vers l'amont, ils se sont élevés jusqu'à la cote 250 environ, sans pouvoir atteindre le lambeau de couche signalé par M. Gruner à la cote 330 (p. 291). On ne doit

vraisemblablement avoir affaire en ce point qu'à un lambeau de peu d'importance, formant gradin dans la faille du Bois-Monzil, à peu près exactement au point où elle se réunit à la faille du Furens. Vers l'aval, la couche a été reconnue jusqu'à 300 mètres environ (cote 117) de la limite des concessions de quartier Gaillard et de la Chana. Au point où l'on s'est arrêté, elle était parfaitement régulière, mesurait près de 4 mètres d'épaisseur et était constituée par du charbon de très belle qualité.

Rien ne faisait prévoir le voisinage de la faille de Côte-Chaude, qui doit pourtant exister, si l'on veut que la Grande Couche de Villars ne soit que le prolongement de la couche de Montaud. En ce point, cette faille devrait correspondre à un rejet de 300 mètres; et, à moins de lui supposer une inclinaison tout à fait inusitée dans le bassin de la Loire, on ne devait en être éloigné que de quelques mètres au point où cette recherche a été arrêtée.

Dans le lambeau du Puits Gallois et du Puits de Villefosse, on exploite actuellement la même couche entre les cotes 130 et 200. On s'est avancé vers le Sud jusqu'à 600 mètres environ de l'extrémité Nord des dépilages du Puits des Roziers. Ici encore, la couche diffère tout à fait de la 8e des Roziers. Elle mesure 4 à 5 mètres d'épaisseur, dont 3 mètres à $3^{m},50$ de très beau charbon au mur, et $1^{m},50$ à $0^{m},50$ de charbon schisteux au toit (mine haute).

La nature du charbon est fort analogue à celle du quartier Est, tout en étant plutôt moins pure. Il n'existe point de couche au toit de cette Grande Couche ; du moins, aucun des travers-bancs, pris à partir de la recette d'extraction du Puits de la Chana, n'en a rencontré ; du côté de Gallois, par contre, il existe, par places, une petite couche au mur.

Pour pouvoir considérer aujourd'hui la Grande Couche de Villars comme la 8e du bassin houiller de Saint-Étienne,

il faudrait admettre que cette couche, dont la composition a régulièrement varié dans le même sens depuis le Puits de la Pompe jusqu'à la limite Nord des travaux de Montaud, change brusquement de nature en entrant dans la concession de la Chana, au moment précis où elle est coupée par un accident très important (rejet de 300 mètres) dont l'approche n'est annoncée par aucun accident précurseur, aussi bien au mur du côté de Montaud, qu'au toit dans les travaux du quartier Est.

La faille de Côte-Chaude devrait avoir un effet analogue, quand on passe des travaux du Puits des Roziers à ceux de Gallois. De ce côté, en effet, on ne trouve rien qui annonce le voisinage d'un accident de 200 mètres d'importance, rejetant les couches au mur. Tous les accidents de cette région plongent, au contraire, en sens inverse, et paraissent plutôt appartenir au groupe de la faille de la Chana. Enfin, à moins de supposer que la trace de la faille de Côte-Chaude ne soit extrêmement sinueuse, ou ne soit coupée par une série d'accidents secondaires, dont on ne trouve nulle part, jusqu'à présent du moins, le moindre indice, il devient difficile, pour ne pas dire impossible, de faire passer aujourd'hui cette trace entre les travaux des Puits Imbert et de la Chana, au Nord, et ceux des Puits des Roziers, Sainte-Marie et Avril, au Sud.

On doit conclure de ce qui précède que la faille de Côte-Chaude n'existe vraisemblablement pas.

Les positions relatives de la 8e couche de Montaud et de la Grande Couche du quartier Est de la Chana, situées l'une et l'autre au mur de la faille du Furens, et qui, d'après ce qui précède, ne peuvent être séparées par un accident important, l'intervalle qui sépare normalement, dans toute la plaine du Treuil et du Soleil, la 13e couche de la 8e (environ 300 mètres à la Pompe), montrent que la Grande Couche de Villars ne peut être que la 13e.

L'analogie évidente entre le faisceau de couches exploitées par le Puits Beaunier avec la 15e des Puits de la Doa et Saint-André, puis avec celle du Puits des Chaux, c'est-à-dire avec toute la partie de la 15e, située au mur de la faille de la République, en est encore une preuve. L'intervalle entre la 8e et la 13e, d'une part, puis entre la 13e et la 15e, serait seulement ici un peu plus faible que dans la concession du Treuil. Il ne serait que de 300 à 310 mètres entre la 8e et la 13e et de 175 à 180 mètres entre la 13e et la 15e. Cette légère diminution de la formation houillère paraît correspondre au rapprochement de la 8e et de la 12e, que l'on constate déjà au Puits de la Manufacture.

La 8e de Montaud, limitée au Nord par la faille de la République et, au Sud-Ouest, par la faille du Furens, vient affleurer dans la concession de la Chana, non loin du Puits Vieux de la Chana. Ce sont ces affleurements qui sont portés sur l'atlas (pl. XII), sous le nom de 7e *bis* (puissance : 1m,10). Sous cette 8e, on doit trouver, comme à la Manufacture, les couches 10, 11 et 12. Quant à la 13e, elle est déjà connue au quartier Est de la Chana. L'aval-pendage de ces travaux constituera, sans aucun doute, entre ces deux failles, un champ d'exploitation aussi régulier que celui de la 8e, dans la région de Montaud et de la Manufacture. Il est, d'ailleurs, vraisemblable que le Puits de la Manufacture la rencontrera, mais que la faille de la République coupera cette couche à peu de distance au Nord de ce Puits.

Au toit de la faille du Furens (rejet de 150 mètres environ, au puits de la Chana), la coupe complète des terrains est donnée par le Puits Neuf de la Chana. Il suffit de la comparer à celle du Puits de la Manufacture et à celle du Puits de la Pompe pour remarquer l'analogie complète qu'elles présentent. La grande 8e correspond à la couche de 2m,25 d'épaisseur, recoupée par ce puits à

165 mètres de profondeur, couche au mur de laquelle se trouvent encore 2m,40 de schistes charbonneux. Elle fut exploitée autrefois par le Puits Vieux de la Chana, et ses affleurements sont connus au fond du ravin qui sépare les collines sur lesquelles sont établis les Puits Beaunier et de la Chana. La Crue, qui s'écarte de plus en plus de la Grande 8e et qui s'altère en même temps, comme on l'a vu à Montaud, doit correspondre aux schistes avec filets charbonneux de 0m,25 et 0m,20 d'épaisseur, que l'on connaît à 35 mètres, au toit de la couche de 2m,25.

Les couches 10 et 11 du Treuil et de la Manufacture se retrouvent, et comme position, et comme composition, dans les petites couches rencontrées à 350 mètres de profondeur. Elles mesurent ici 0m,30 et 0m,55 d'épaisseur et sont séparées par un nerf de 0m,20. On doit considérer comme représentant la 12e, les filets charbonneux trouvés au point où le Puits de la Chana recoupe la faille du Furens.

Quant aux petites planches charbonneuses qui représentent la 9e, elles se correspondent aussi fort bien.

Le Puits de la Chana a manqué la 13e, par suite de l'existence de la faille du Furens. Mais il est aisé de se rendre compte qu'il aurait dû la recouper vers 490 mètres de profondeur, soit à 325 mètres au-dessous de la 8e (distance normale : 310 mètres). La position de cette couche correspond tout à fait à celle de la 13e du Treuil. Quant au faisceau de la 15e couche, le puits de la Chana le recoupera au mur de la faille du Furens à la profondeur de 520 mètres environ, soit à peu près en face de la 13e, prise au toit de cette faille ; et si l'amélioration que l'on constate dans cette couche, au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre du bassin, se maintient, on peut espérer y trouver aussi, des ressources importantes.

Faille de la République. — La faille de la République ne mesure, dans les concessions de Reveux et de Méons,

qu'une faible amplitude (80 à 100 mètres ; Gruner, p. 215). Son importance commence à augmenter après sa jonction avec la faille de Mars, et elle atteint 220 mètres en face du grand puits du Cros (Gruner, p. 212-215).

Lorsque la faille de Méons rencontre la faille de la République, les deux rejets se superposent, et la faille de la République, après sa jonction avec la faille de Méons, mesure 470 mètres (Gruner, p. 220-221).

Plus à l'Ouest, la faille du Soleil vient buter à son tour à la faille de la République. La faille du Soleil, qui correspond à un rejet total de 300 mètres en face du Puits du Treuil, se bifurque seulement avant d'atteindre la faille de la République. Un premier gradin, faille du Marais, donne tout d'abord un rejet de 200 mètres, mais perd rapidement de l'importance et ne correspond plus qu'à un rejet de quelques mètres aux abords du Puits de la Manufacture ; l'autre gradin, qui mesure encore une centaine de mètres, se réunit à la faille de la République à peu de distance du Puits du Marais, et porte l'importance de cette faille de 470 mètres à plus de 600 mètres, puisqu'au Nord du Puits du Marais la 15e descend au mur de la faille, jusqu'aux environs de la cote 480, tandis que la 8e se retrouve au toit de cette faille à la cote 335.

Mais l'importance de ce rejet diminue rapidement, et cela malgré l'effet de la faille Théodore qui relève très sensiblement la 15e du Puits des Chaux au mur de la faille de la République. La 8e se redresse, en effet, de plus en plus, à mesure que l'on s'avance vers l'Ouest ; on la retrouve le long de la limite des concessions du Cros et du Treuil, à 200 mètres du Furens, à la cote 425, à peu près en face de la 15e du Puits Neuf des Chaux, qui descend ici jusqu'à la cote 440-435. L'importance du rejet ne correspond donc plus qu'à l'intervalle qui sépare la 8e de la 15e, soit à 520 mètres, si l'on admet que la 13e est ici à 330 mètres au mur de la 8e, comme aux Puits Saint-Louis et de la

Pompe, et que la 15e est à 190 mètres au mur de la 13e. L'importance de ce rejet serait, d'ailleurs encore plus faible si, comme cela a lieu à la Chana, la 13e n'est qu'à 310 mètres de la 8e, et la 15e, à 175 mètres de la 13e (total : 485 mètres).

Si l'on se reporte, d'ailleurs, d'une part, à l'allure de la 15e et de la 8e dans la concession de la Chana, puis à la ligne suivant laquelle la 8e est coupée par la faille de la République, on voit aisément que la 8e doit chevaucher dans cette concession sur la 15e. Par suite, au fur et à mesure que l'on s'avance vers l'ouest, l'importance du rejet doit diminuer encore. En face du Puits Vieux de la Chana, sur la ligne qui joint les Puits Saint-André et de la Chana, la 13e se trouve à la cote 200, alors que la 15e est au mur de la faille aux environs de la cote 425. Le rejet de la faille n'est plus ici que de 225 + 190, soit de 415 à 420 mètres, en admettant encore que la 15e soit à 190 mètres au mur de la 13e, tandis que, dans les travaux du Puits Beaunier, cet intervalle paraît être moins considérable.

Après sa rencontre avec la faille du Furens, l'importance de la faille de la République doit augmenter de nouveau de 150 mètres. Elle doit, d'ailleurs, diminuer ensuite, par suite de la différence d'inclinaison que présentent les terrains au toit et au mur de cette faille.

L'importance de la faille de la République est donc loin de croître régulièrement en allant de l'Est à l'Ouest. C'est dans la concession du Treuil, c'est-à-dire à peu près au centre du bassin de Saint-Étienne, au point où la faille du Soleil vient buter contre elle, qu'elle présente son amplitude maxima. Elle diminue, au contraire, rapidement à droite et à gauche de ce point.

DISCOURS
PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES
DE M. DAUBRÉE

MEMBRE DE L'INSTITUT,
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES EN RETRAITE,
DIRECTEUR HONORAIRE DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES

le 1er juin 1896.

DISCOURS DE M. FOUQUÉ

Membre de l'Institut.

AU NOM DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

Messieurs,

En l'absence de M. des Cloizeaux, empêché par l'état de sa santé, la Section de minéralogie m'a confié le pieux devoir d'adresser, au nom de l'Académie des sciences, un dernier adieu à notre cher et regretté doyen, M. Daubrée.

Parmi les membres qui ont illustré l'Académie des sciences, il en est peu qui aient eu, comme lui, l'heureux privilège d'y siéger pendant près d'un demi-siècle et d'y conserver jusqu'aux limites de la vieillesse la vigueur, l'humeur égale et l'activité intellectuelle de leurs jeunes années. Entouré de respect et d'estime, honoré des plus hautes amitiés, soutenu par les soins d'une famille aimée, il a traversé les épreuves les plus cruelles de la vie avec la fermeté et le calme d'un sage. Travailleur infatigable, érudit consciencieux, expérimentateur habile, il laisse dans le domaine scientifique un sillon lumineux, et, au sein

de l'Académie, la mémoire d'un confrère bienveillant et aimable. Depuis quelques semaines, une maladie, grave dès le début, l'avait atteint inopinément ; plusieurs fois on nous avait avertis que sa vie était en danger, et pourtant, telle était notre confiance dans sa robuste constitution que nul d'entre nous n'avait douté de sa guérison prochaine. Sa mort nous cause une affliction inattendue.

M. Daubrée (Gabriel-Auguste) est né à Metz, le 25 juin 1814. Attaché à sa ville natale par les liens les plus étroits, il a eu la douleur de la voir passer sous le joug étranger. Il a pleuré non moins amèrement le sort de l'Alsace, où il avait passé les plus belles années de sa jeunesse, effectué ses premières études de minéralogie synthétique et enseigné la géologie avec éclat. Il a été l'une des victimes les plus éprouvées de nos désastres de 1870, et, en même temps, l'une de ces âmes courageuses dont rien n'ébranle la foi dans un avenir de justice et de réparation.

Mais c'est exclusivement sa vie scientifique dont je veux tracer ici une rapide esquisse.

Sorti de l'École polytechnique dans le Corps des Mines, M. Daubrée a la bonne fortune, au commencement de sa carrière d'ingénieur, d'être envoyé en mission successivement en Angleterre, en Suède et en Norvège. Du Cornouailles anglais, il rapporte des observations intéressantes sur les gisements et la constitution du minerai d'étain et, surtout, des aperçus fertiles sur son mode de formation. Il devine la puissance créatrice du fluor et son rôle dans le monde minéral. Il publie une classification des gites métallifères de la Scandinavie et mérite qu'un lecteur tel que Berzélius déclare hautement qu'il lui est redevable de notions précises et d'idées nettes sur des sujets qui, cependant, lui étaient familiers.

Attaché comme ingénieur au département du Bas-Rhin, il parcourt les Vosges et la plaine du Rhin, multipliant les

observations et enrichissant les *Annales des Mines*, le *Bulletin de la Société géologique de France* et les *Comptes Rendus de l'Académie* de notices variées, remplies de constatations nouvelles. Un volume consacré à la description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin complète et réunit toutes ces données ; c'est un des documents les plus précieux dont la science française ait doté l'Alsace. Alors une ère nouvelle s'ouvre pour le jeune ingénieur. Appelé à professer dans la chaire de minéralogie et de géologie de la Faculté de Strasbourg, il vivifie son enseignement par des expériences à jamais mémorables sur la reproduction des oxydes de titane et d'étain au moyen de la décomposition des bichlorures par la vapeur d'eau. Pour la première fois, les fourneaux d'un laboratoire fournissent des cristaux de cassitérite doués de l'éclat adamantin, des nuances et de la dureté du minéral naturel. Peu après, M. Daubrée, variant ses procédés expérimentaux et suivant la voie inaugurée par Sénarmont, soumet à l'action de la chaleur rouge des tubes scellés, dans lesquels il a enfermé de l'eau et divers composés chimiques. Bien souvent, les appareils éclatent avec de violentes explosions, mais ceux qui échappent à la destruction fournissent de remarquables cristallisations.

En 1860, M. Daubrée publie sur la question du métamorphisme un mémoire qui, alors, a vivement appelé l'attention du monde savant et qui, aujourd'hui encore, doit être considéré comme un jalon indicateur du développement de la géologie à une époque déterminée de son histoire.

L'année suivante, l'Académie récompense cet ensemble de travaux en appelant M. Daubrée au fauteuil laissé vacant par la mort de Cordier. Puis, la chaire de géologie au Muséum et celle de minéralogie à l'École des Mines lui sont dévolues. Dans ces deux établissements, le

soin des collections et les nécessités du professorat constituent de lourdes charges ; on pouvait craindre qu'il n'en résultât un certain arrêt dans les travaux personnels du professeur. M. Daubrée a pu suffire à ces tâches variées et poursuivre en même temps ses recherches propres. Tous les minéralogistes ont admiré ses études sur les zéolithes des sources thermales de Plombières et de Luxeuil. Au Muséum, il a réuni, déterminé et classé une large collection de météorites. Enfin, il y a peu d'années encore, un ouvrage considérable, qu'il a fait paraître sur la circulation des eaux souterraines, a été traduit dans toutes les langues des grands États de l'Europe.

Peu de géologues français ont joui à l'étranger d'une notoriété comparable à la sienne. En France, les différents corps auxquels il a appartenu l'ont élevé aux postes les plus brillants. Au commencement de sa carrière scientifique, l'Université lui a conféré le décanat de la Faculté des sciences de Strasbourg, et les dernières années de sa carrière d'ingénieur ont été remplies par la direction de l'École des Mines. A l'Académie, il jouissait d'une grande autorité parmi ses confrères ; dans le sein de la Section de minéralogie particulièrement, on se soumettait volontiers à son influence. La sûreté de son jugement, l'aménité de ses manières, la fermeté de sa volonté, tempérée par une grande courtoisie, expliquent sa prépondérance dans nos conseils. Pendant longtemps, nous sentirons le vide qu'il laisse parmi nous.

Adieu, cher confrère et maître. Reposez doucement après une vie noblement remplie au service de la patrie et de la science.

DISCOURS DE M. LINDER

Inspecteur général des Mines, Vice-Président du Conseil général des Mines,

AU NOM DU CORPS DES MINES.

Messieurs,

Lorsqu'il y a peu de jours, nous avons accompagné M. l'Inspecteur général Dupont à sa dernière demeure, celui dont il avait été l'infatigable et dévoué collaborateur à la Direction de l'École des Mines, M. Daubrée, était déjà très sérieusement souffrant, mais rien n'indiquait que sa belle et verte vieillesse dût succomber à quelques jours de là sous l'étreinte de l'implacable maladie. L'espoir des siens, celui de ses amis, devait être tristement déçu.

L'éminent orateur que vous venez d'entendre vous a parlé du savant et du vide que sa mort va laisser dans la science, de l'homme et de son caractère, des amitiés nombreuses et fidèles qu'il laisse derrière lui; qu'il me soit permis, à mon tour, de vous dire les services rendus à des titres divers par l'Ingénieur et le fonctionnaire.

M. Daubrée, à sa sortie de l'École Polytechnique, en 1832, avait choisi la carrière des mines. Dès ses débuts, il s'appliqua avec ardeur à l'étude des sciences, auxquelles il devait vouer son existence: en 1837, il se vit chargé, comme Élève-ingénieur, d'une mission en Angleterre, d'où il rapporta de précieuses observations.

A son retour, il était nommé Aspirant, prenait le service du sous-arrondissement minéralogique du Haut-Rhin et, deux ans après, de celui du Bas-Rhin, avec résidence à Strasbourg, qu'il ne devait plus quitter qu'en 1861. Son service était peu chargé, mais il sut suppléer à ce défaut d'importance par les projets qu'il savait provoquer, comme par les travaux scientifiques personnels auxquels il se livra et qui ne tardèrent pas à lui ouvrir les portes de la Faculté des

sciences de Strasbourg, où il professa la géologie et la minéralogie.

En 1840, le Conseil général du Bas-Rhin le chargea de l'exécution de la carte géologique de ce département, confiée primitivement à M. l'Ingénieur en chef Voltz et que la mort de ce savant géologue avait inopinément interrompue. Ce très important travail, remarquable par son exactitude, fut terminé en 1848, et publié en 1852.

Nommé Ingénieur en chef en 1855, M. Daubrée vit ses fonctions administratives augmenter d'importance; divers travaux d'ordre technique avaient été confiés aux Ingénieurs de son arrondissement minéralogique: parmi eux se trouvaient les travaux de captage des sources de Plombières, exécutés de 1857 à 1861 par Jutier, qui mirent, comme on sait, en complète évidence le gisement des eaux minérales de cette localité et donnèrent les résultats pratiques les plus utiles.

La réputation de M. Daubrée comme géologue avait dépassé la frontière, et plus d'une fois appel fut fait à sa science et à son expérience. C'est ainsi qu'en 1860, la Compagnie concessionnaire du chemin de fer de Luxembourg à Trèves ayant reconnu, pendant l'exécution de la ligne, que le tracé fixé dans la vallée de la Moselle la mettait en présence de difficultés qu'il lui était impossible de surmonter, la question fut soumise à l'étude de trois ingénieurs, M. Daubrée et deux Belges. Ces ingénieurs constatèrent la réalité des difficultés signalées, prouvèrent qu'elles créaient de véritables dangers pour l'établissement de la ligne et pour son exploitation et qu'on ne les éviterait qu'en reportant le tracé de la vallée de la Moselle dans celle de la Syre. Leur conclusion fut adoptée, et le service rendu au Grand-Duché par M. Daubrée fut jugé assez considérable pour lui valoir la Croix de Commandeur de l'Ordre de la Couronne de Chêne, qui lui fut conférée par le roi de Hollande.

En 1861, nommé professeur-administrateur de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle, à Paris, et, peu après, appelé, par les suffrages de l'Académie des sciences, au siège devenu vacant par la mort de Cordier, il quitta Strasbourg, où jusqu'alors s'était écoulée sa carrière, y laissant de nombreux amis, que lui avait valus son caractère doux, bienveillant et naturellement réservé. A peine installé, le Ministre des Travaux publics, sur la désignation du Conseil de l'École des Mines, lui confia la chaire de minéralogie de cet important établissement d'enseignement scientifique et technique, dont il reçut la direction dix ans après. Je laisse à celui qui est actuellement son successeur dans ces dernières fonctions le soin de vous dire les services qu'il y a rendus.

A dater de cette époque, le rôle de M. Daubrée devient très multiple ; nombreuses sont les missions qu'il a remplies et pour lesquelles, d'ailleurs, le désignaient sa grande notoriété scientifique et sa haute situation dans le Corps des Mines.

Depuis 1862, il a pris part à toutes nos grandes Expositions comme membre du Jury et quelquefois comme rapporteur.

Qui, parmi les ingénieurs, ne connaît le rapport qu'il rédigea à la suite de l'Exposition de 1867 ? Après un exposé complet des progrès réalisés pendant les derniers temps dans l'industrie extractive, il montre comment ces progrès ouvrent la voie à des découvertes nouvelles ; puis, dans une conclusion magistrale, il met en évidence le secours que, d'une part, la géologie pure et, d'autre part, l'expérimentation dans l'étude des phénomènes géologiques de tout ordre, physiques, chimiques et mécaniques, doivent apporter aux applications industrielles et agricoles.

Un des initiateurs de la première heure de ces sortes d'études, il prêche d'exemple ; il poursuit avec ardeur celles qu'il avait commencées et en coordonne les résultats

dans l'ouvrage qu'il a publié sous le titre d'*Études synthétiques de géologie expérimentale*. Ces travaux, dont certains sont d'une importance capitale, lui ont valu de l'Etranger, principalement de l'Angleterre et de l'Italie, les distinctions scientifiques les plus flatteuses.

Quand l'inflexible loi de la limite d'âge mit un terme à sa carrière active, en 1884, le Gouvernement lui conféra le titre de Directeur honoraire de l'École des Mines pour témoigner par cette mesure exceptionnelle du prix qu'il attachait aux services que le savant ingénieur lui avait rendus. M. Daubrée était à ce moment Inspecteur général de 1re classe depuis douze ans ; il avait été promu, le 11 juillet 1881, à la dignité de Grand-Officier de la Légion d'honneur. Jusqu'à son dernier jour, il a fait partie de la Commission spéciale de la Carte géologique détaillée de la France, dont il était membre depuis 1875 et dont il n'a cessé, depuis lors, de partager les travaux.

M. Daubrée laissera dans le Corps des Mines le plus durable souvenir. En lui adressant un dernier et douloureux adieu, je dépose sur sa tombe, au nom de nos camarades, le tribut de nos bien vifs regrets.

DISCOURS DE M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE

Membre de l'Institut,
Inspecteur général des Mines, Directeur de l'École nationale supérieure des Mines,

AU NOM DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

Messieurs,

Il appartenait à l'Académie des sciences de retracer sur cette tombe la gloire scientifique de M. Daubrée, et à M. le Vice-Président du Conseil général des Mines de vous rappeler la carrière accomplie par cet homme éminent dans le Corps des Mines. Mais ce serait laisser un

trop grand vide dans l'expression de nos regrets, si l'École nationale supérieure des Mines n'apportait elle-même ici son dernier adieu à l'un de ses directeurs les plus illustres, les plus aimés.

Daubrée, entré comme Elève-ingénieur à l'École des Mines le 15 novembre 1834, y est revenu en 1862 comme professeur de minéralogie, à la mort de Sénarmont. Son cours était très soigné, attentivement descriptif, et très propre à former chez les auditeurs la connaissance des espèces minérales. Après dix ans de cet enseignement, il fut appelé, en 1872, à la direction de l'École en remplacement de Combes, et la conserva jusqu'au moment de sa retraite, en 1884.

Tous ceux qui ont connu sa verte vieillesse pendant les douze années écoulées depuis cette époque seront unanimes à penser que la limite d'âge a des rigueurs, à coup sûr nécessaires au point de vue général, mais qui, dans certains cas, peuvent constituer un véritable anachronisme. Le titre de Directeur honoraire lui fut alors conféré.

D'utiles innovations ont été accomplies sous son influence. Je me bornerai à citer la création du cours de géologie appliquée et des conférences de paléontologie végétale, d'électricité industrielle, de statistique graphique. Ces dernières sont devenues ultérieurement le point de départ de l'institution de deux autres chaires nouvelles. Il serait, d'ailleurs, ingrat d'oublier la générosité personnelle de Daubrée envers notre galerie de minéralogie, et les dons nombreux dont il l'a successivement enrichie.

En rendant ce dernier hommage à notre ancien directeur, je ne saurais omettre un de ses titres qui ne doit pas être laissé en oubli. Il a été le président élu de la Commission du grisou, qui a été instituée par la loi du 26 mars 1877, et dont les remarquables travaux ont provoqué la création de commissions semblables en Angleterre,

en Prusse, en Autriche. Ce grand mouvement ne s'est pas arrêté, et la lutte féconde contre le grisou est plus que jamais à l'ordre du jour. Le nom de Daubrée y restera attaché.

Que dire des précieux exemples que nous a laissés cet homme illustre et excellent ? Tous ceux qui ont eu l'honneur de servir sous ses ordres, mais nul peut-être plus que moi, ont éprouvé son dévouement si affectueux, si rempli de sollicitude. Plein d'aménité et de courtoisie dans les rapports extérieurs, il possédait les qualités plus profondes et plus rares sur lesquelles se fonde la sûreté des relations. Il était fidèle dans ses amitiés, et prévoyant pour l'avenir de ceux dont la carrière pouvait dépendre de lui. Nous conserverons pieusement le souvenir de cet homme de bien, de ce chrétien convaincu qui vient enfin d'échanger les grandeurs terrestres conquises par son labeur, contre de plus hautes et plus essentielles destinées !

DISCOURS DE M. STANISLAS MEUNIER

Professeur au Muséum d'histoire naturelle,

AU NOM DU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

Messieurs,

Je viens dire à M. Daubrée un dernier adieu au nom du Muséum d'histoire naturelle, où il occupa pendant plus de trente ans la chaire de géologie. Je ne saurais remplir ce devoir sans une émotion que je n'essaierai pas de cacher. Appelé pendant près d'un quart de siècle à travailler continûment à ses côtés, admis à une collaboration active à ses expériences et à ses écrits, je ne puis voir s'éteindre l'homme illustre qui fut mon initiateur dans la science, sans que surgissent du même coup, devant ma mémoire, les longues années vécues avec lui.

M. Daubrée a laissé au Muséum le souvenir durable d'un travailleur jamais lassé, toujours préoccupé d'ajouter de nouvelles conquêtes à sa récolte de découvertes, et prêchant ainsi par l'exemple autant que par la parole.

C'est au Muséum qu'il a mené à bien nombre de ses plus belles recherches, et l'on peut dire qu'il y a introduit et acclimaté la méthode géologique expérimentale, si féconde entre ses mains. La plupart de ses travaux empruntent, en effet, un caractère tout particulier à la préoccupation qu'il avait de contrôler les données de l'observation par les produits de l'expérimentation rationnelle. Les grandes questions que soulèvent l'étude des gîtes métallifères, celle des phénomènes du métamorphisme, celle des chaines de montagnes et des cassures terrestres, celle enfin, pour borner nos exemples, des roches de provenance cosmique, l'ont tour à tour amené à réaliser des reproductions synthétiques, et c'est avec conviction qu'il aimait répéter le précepte de Bacon, de porter les problèmes de la science « sous le fer et le feu de l'expérience ».

Aussi (ai-je besoin de l'ajouter?) est-ce avec un soin pieux que nous conserverons la série des appareils qu'il a imaginés et des résultats qu'il a obtenus.

Le Muséum doit aussi à M. Daubrée l'installation de la très précieuse collection de météorites, qui a reçu de lui son autonomie et à laquelle il a su procurer, par son activité toujours en éveil, des accroissements si considérables qu'elle peut lutter honorablement avec les collections similaires des pays étrangers.

Enfin, notre Établissement a eu dans l'illustre savant un professeur fidèle à ses traditions, et dont l'enseignement fut constamment consacré à l'exposé des acquisitions scientifiques les plus récentes et à la libre discussion des doctrines les plus hautes.

A ces différents titres, le Muséum a de grands motifs

de reconnaissance à M. Daubrée, et il conservera son nom sur la liste de ceux qui ont le plus contribué à sa gloire.

DISCOURS DE M. LOUIS PASSY

Secrétaire perpétuel de la Société Nationale d'Agriculture,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE.

M. Daubrée, que la Société nationale d'agriculture avait jugé, il y a vingt ans, le plus digne d'occuper la place d'Élie de Beaumont, avait reçu tous les honneurs qu'entraine la gloire scientifique quand notre Compagnie l'appela à la présidence en 1890.

J'ai passé une année entière dans sa collaboration active et dévouée, et c'est avec les sentiments d'une affectueuse et respectueuse reconnaissance que je viens apporter les regrets que la mort de ce savant éminent nous inspire.

Il me semble que personne n'est mieux désigné que moi pour rappeler les qualités d'un confrère excellent, dont la cordiale bienveillance s'exerçait en toute occasion. Un autre peut-être, avec une plus grande autorité, eût signalé les services que M. Daubrée rendit à la géologie agricole. Heureusement, notre président, M. Risler pense et sent comme moi, et nous sommes tristement unis pour rendre à celui que nous avons perdu des hommages bien mérités.

C'est qu'en effet, parmi les nombreux problèmes que les sciences naturelles doivent résoudre pour les progrès de l'agriculture, il n'en est pas qui, dans ces temps derniers, aient provoqué plus d'études que la composition du sol et du sous-sol. Tandis que les géologues, comme Élie de Beaumont, Berthier, Daubrée, Delesse, se sont appliqués à reconnaître les éléments des matériaux qui

couvrent le sol et qui ont une action sur la terre végétale, les chimistes, comme Boussingault, Schlœsing, Berthelot, Dehérain, étudient sans cesse l'action réciproque des éléments minéraux et des éléments végétaux. Si quelques-uns, comme Daubrée, s'appliquent plus spécialement à la recherche des rapports qui existent entre la géologie sidérale et la géologie terrestre, tous ensemble cherchent à constater les effets de la température sur la composition du sol et le développement de la production agricole.

M. Daubrée l'a dit lui-même : « Les circonstances les plus complexes président à la formation de la terre végétale. Assurément, cette terre végétale est sous la dépendance immédiate des masses sous-jacentes ; mais elle reçoit des apports provenant de distances plus ou moins grandes, soit par l'action de l'eau, soit par les mouvements de l'air. »

Voilà pourquoi nous avons vu M. Daubrée, l'auteur des *Études synthétiques de géologie expérimentale*, l'auteur du grand et bel ouvrage sur les *Eaux souterraines*, élever ses études vers *les Régions invisibles du globe et des espaces célestes*, et présider la Société nationale d'agriculture et le Bureau central météorologique de France.

L'agriculture est un art qui vit du secours de toutes les sciences naturelles. Pour bien servir l'agriculture, il faut se consacrer aux applications de la science et savoir résolument quitter la théorie pour entrer dans les détails de la pratique. Aussi, notre confrère M. Daubrée, reprenant la tradition d'Élie de Beaumont, avec une persévérance qui devint un véritable service, fut, pendant vingt ans, toujours attentif et zélé pour mettre en lumière la question nouvelle et capitale des phosphates dans l'agriculture. Il fit valoir notamment le célèbre travail qu'Élie de Beaumont consigna dans nos *Mémoires* en 1856, sur l'utilisation des phosphates naturels ; il contribua à faire

donner à M. de Molon notre grande médaille d'or en 1881, pour la découverte, en France, de nombreux gisements de phosphates exploitables ; enfin, il sut rendre justice à tout le monde et, dans son discours de présidence, il résuma, comme un maître qu'il était, les leçons de sa haute expérience ; aussi mérite-t-il aujourd'hui qu'on lui assigne le premier rang parmi les propagateurs d'une des plus importantes découvertes touchant l'agriculture contemporaine.

La renommée de M. Daubrée était universelle. L'Académie des sciences a partagé avec lui les honneurs qui lui furent rendus par tous les savants du monde. Plus modeste sera la Société nationale d'Agriculture de France. Elle lui témoigne sa gratitude, en rappelant, en ce moment suprême, les conseils éclairés que M. Daubrée sut donner à nos agriculteurs ; elle ajoute à ces souvenirs scientifiques les souvenirs intimes d'une collaboration de vingt années, dans laquelle chacun de nos confrères puise aujourd'hui les douloureux sentiments que nous déposons sur cette tombe avec la plus vive émotion.

DISCOURS DE M. HAUTEFEUILLE

Membre de l'Institut, Président de la Société Française de minéralogie,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

Messieurs,

Au nom de la Société Française de minéralogie, je viens rendre un tribut d'hommages et de regrets au savant illustre qu'elle était fière de compter parmi ses fondateurs.

M. Daubrée a été l'un de nos présidents.

Pendant de longues années, assidu à nos séances, il a fait partie du petit groupe de savants éminents qui se sont

attachés avec un zèle infatigable à relever et à développer le goût des études minéralogiques dans notre pays.

La présence du vénérable doyen de la Section de minéralogie était une bonne fortune pour les jeunes membres de la Société, heureux et fiers de son approbation, instruits par ses appréciations : il excellait, par son enthousiasme juvénile, ses compétences étendues, à mettre en valeur les mérites des travaux les plus divers. Tous nous nous rappelons les notices nécrologiques qu'il écrivait avec tant d'âme et que notre *Bulletin* conserve précieusement.

Je voudrais rendre les sentiments de respectueuse admiration que nous inspirait sa carrière, remplie, non pas tant par des années, que par des œuvres magistrales.

La publication de ses *Études de géologie expérimentale* nous avait révélé l'unité du plan et la suite des idées du maître ; elle avait aussi mis en pleine lumière les secours que sont appelées à se prêter la géologie et la minéralogie : ainsi, ses très intéressantes observations sur la minéralisation des matériaux de construction par les eaux thermales, l'avaient conduit à effectuer de remarquables synthèses minéralogiques. Cette union des deux sciences a été réalisée, à son exemple, par plusieurs de ses élèves.

M. Daubrée avait voué à la science désintéressée un culte qui n'a pris fin qu'avec sa vie. Il aimait notre Société, les succès de ses membres étaient pour lui des joies profondes.

La perte d'un pareil homme sera sentie par le monde savant tout entier : son deuil sera porté par la Société Française de minéralogie.

DISCOURS DE M. G. F. DOLLFUS

Président de la Société Géologique de France,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

Messieurs,

La Société Géologique de France revendique dans Auguste Daubrée l'un des siens et, à cette heure de cruelle séparation, il lui appartient de manifester publiquement ses douloureux regrets en voyant partir un membre qui a beaucoup aimé la géologie et qui l'a hautement honorée par sa vie et par ses travaux.

Daubrée s'est fait présenter comme membre de notre Compagnie dès 1839, à l'âge de vingt-cinq ans, sous le patronage de Brongniart et de Voltz ; il a été deux fois son président, en 1864 et en 1879 ; il n'a cessé de faire partie de ses conseils que depuis que l'âge est venu arrêter son activité physique.

On peut dire que toute sa vie scientifique se déroule dans notre *Bulletin*, de 1840 à 1895 ; presque chaque volume, pendantces cinquante-cinq années, renferme une ou plusieurs notes de lui sur les sujets les plus importants de la géologie.

Notre regretté confrère fréquentait nos séances ; il venait dans ces libres réunions de maitres et d'élèves, d'ingénieurs et d'amateurs, écouter et discuter les questions les plus simples comme les plus hautes. Dans ce milieu indépendant, il apportait cette note de courtoisie et de gracieuse confraternité qui lui avait gagné tous les cœurs.

Il commença comme stratigraphe par une étude des Vosges en préparant une description géologique et minéralogique du Bas-Rhin qui est restée classique. Il étudie l'or du Rhin, le bitume de Bechelbronn, la température

des sources des Vosges ; entre temps, il détermine le mode de formation du minerai de fer dans les marais et les lacs de la Lorraine et des Vosges, par l'action réductrice des matières organiques.

Comme métallurgiste, à la même époque, il examine le gisement et la constitution des amas d'étain en France, en Angleterre et en Allemagne ; après d'autres voyages, il donne des notes sur les dépôts métallifères de la Suède et de la Norvège et sur les phénomènes erratiques scandinaves.

Dès lors commence à apparaître le caractère particulier de son œuvre, œuvre qu'il poursuivra à travers les situations les plus hautes qui vous ont été retracées. Après l'analyse chimique et la décomposition des roches, il cherchera inversement à recomposer leurs éléments, à reproduire les conditions qui ont pu leur donner naissance, à refaire artificiellement les minéraux naturels. Les oxydes d'étain, de titane, l'apatite, la topaze sortent de son creuset en 1851, et nous le retrouvons encore, en 1876, cherchant à imiter les roches qui accompagnent le platine natif.

En 1859, il est en pleine possession de son talent et il publie ses *Études et expériences synthétiques sur le métamorphisme et la formation des roches cristallines*, travail capital qui restera le plus important de sa carrière : il démontre que la chaleur seule ne suffit pas pour expliquer tous les phénomènes de transformation des roches, il ajoute que les vapeurs minérales peuvent être un auxiliaire utile, mais qu'elles sont encore insuffisantes, enfin, que c'est l'eau circulant partout dans les roches qui doit être considérée comme l'agent essentiel du métamorphisme, le grand minéralisateur des masses, conclusion considérable trop souvent oubliée aujourd'hui. Il dit lui-même : « A mesure qu'on approfondit davantage ce qui se passe dans l'écorce du globe, on voit s'agrandir ce

cercle de décompositions et de recompositions successives, qui forment en quelque sorte l'activité et comme la vie de la matière inorganique. »

Vers 1866, il dirige ses études sur les météorites et s'acharne à leur analyse, leur classification et finalement leur reproduction dans son laboratoire. Il en forme, au Muséum, une collection de la plus haute valeur.

Rapporteur des progrès de la géologie expérimentale à l'Exposition universelle de 1867, Daubrée a analysé les travaux de ses émules et résumé les siens propres sur un sujet où il lui avait été donné de faire de si précieuses trouvailles. Il y établissait les points de ressemblance et de dissemblance entre les pierres célestes et les pierres terrestres. Tous ces travaux sont résumés dans deux forts volumes parus, en 1879, sous le titre d'*Études synthétiques de géologie expérimentale*.

Après avoir étudié l'action chimique, il s'était plu à essayer l'action mécanique sur les roches terrestres ; il institua de nombreux essais permettant de s'assurer comment, par la pression, s'opèrent les cassures dans le sol, créant les expressions de *diaclase* et de *paraclase* qui ont fait fortune, reproduisant, dans son cabinet, sur une feuille fragile, le réseau des fractures du sol en imitation parfaite des accidents géologiques révélés par la géographie.

A une époque plus rapprochée, Daubrée s'est occupé beaucoup d'hydrologie, des *Eaux souterraines à l'époque actuelle* et *aux époques anciennes* (1887), reliant ces œuvres nouvelles avec ses analyses et ses synthèses antérieures et cherchant à découvrir les lois de la circulation des eaux dans les couches du globe ; c'était un des côtés de l'application des sciences géologiques qui lui tenait le plus à cœur et qui m'ont souvent alors rapproché de lui.

Il cherchait comment la géologie pouvait être utile à

l'agriculture, et la question des phosphates, celle des cartes agronomiques le préoccupaient également.

Quoique arrêté par l'âge dans son activité et absorbé par des rapports multiples, notre bienveillant confrère et maître s'intéressait, hier encore, à toutes les publications nouvelles ; il ne laissait échapper aucun travail de quelque importance sans le lire ; il était toujours prêt à encourager les élèves, à pousser les débutants, et l'amabilité de son accueil, lors de mes débuts, en 1877, est encore bien présente à ma mémoire.

C'est sur l'éloge de ses manières affables et distinguées, accompagnant si bien son existence laborieuse et si utilement remplie, que je terminerai les paroles d'adieu que j'adresse à ce grand géologue, non seulement au nom de la Société Géologique de France, mais encore au nom de la Société Géologique de Londres, de la Société Belge de Géologie, de la Société Géologique du Nord, sociétés où j'avais le grand honneur d'être également son collègue.

BULLETIN.

L'INDUSTRIE MINIÈRE EN SERBIE, BOSNIE, HERZÉGOVINE (*)

Par M. L. De LAUNAY, Ingénieur des mines.

Le développement de l'industrie minière dans la région des Balkans n'a commencé qu'assez récemment, bien que les travaux antiques aient laissé des traces nombreuses dans ce pays, par exemple à Avala, Kosmaj, Rudnik, Kopavnik (au sud de Belgrade), à Podovnavski, etc.

En Serbie, dans le seul pays slave des Balkans qui ait été longtemps indépendant des Turcs, on fit un premier effort en 1835, lors de l'arrivée du baron Herder, appelé par le prince Milosch ; mais on n'obtint que des résultats assez fâcheux, particulièrement marqués par la déconfiture de la mine de cuivre de Majdanpek.

En 1878, d'autres tentatives furent faites sur le cinabre du mont Avala, près de Belgrade, et sur la houille de Vrska Cuka (près de la frontière Ouest).

En 1886, on reprit l'exploitation de la mine de Majdanpek appartenant à l'État, et une première Compagnie étrangère (l'Industrielle serbe) se constitua à Bruxelles, au capital de 7 millions, pour exploiter les mines de houille de Vrska Cuka, Mala Cuka et Avramica, dans le district de Zajécar.

L'exposition universelle de Paris, en 1889, amena des recherches sur les gîtes de plomb de Kosmaj, au sud de Belgrade, fameux de longue date par leurs énormes amas de scories antiques accumulées.

A la suite de la reprise des chemins de fer serbes, rachetés par le gouvernement à la Compagnie française qui les avait exploités jusque-là, on rouvrit quelques mines de houille, notamment celle

(*) Extrait principalement de deux rapports 350 et 354 (1895) au *Foreign Office* et complété d'après divers autres documents.

de Senje, gisement que la Compagnie des chemins de fer serbes relia bientôt à Cuprija, sur son réseau, par une ligne à voie étroite de 22 kilomètres.

Toutefois, la constitution de 1888, abolie en 1895, passe pour avoir nui au développement minier de la Serbie, parce que les concessions étaient accordées par un vote de la Skupschina (Parlement) et devenaient ainsi une affaire politique. Actuellement, on est revenu au système ancien de 1869, dans lequel les concessions dépendent du ministre du commerce.

En Bosnie et Herzégovine, on n'a pu songer à des exploitations minières que depuis l'occupation autrichienne, en 1878, et même seulement depuis 1892, époque où le gouvernement a repris quelques mines.

Voici les derniers renseignements statistiques que nous possédions sur l'industrie de ces pays.

SERBIE.

		Tonnes 1891	1894
Lignite	Senje (mine de l'État)	58.769	80.000
	Vrska Cuka (Industrielle serbe)	20.434	
	Alexander (Pozarevac)	3.000	
	Kostolac (Pozarevac)	1.852	
	Dobra (Knjnzevac)	1.000	
	Celije, Sisevac, Kraljevac, Kamenac, etc.	2.595	
		87.650	

		de 1870 à 1890	1890	1891
Cuivre et fer	Majdanpek.	2.419t de cuivre	203t de cuivre	230t
Plomb, zinc, etc.	Kucajna (Pozarevac), Kosmaj	en recherches		

		1890	1891
Mercure	Mont Avala	18t,699	20t,643
	Ripanj (en recherches)		

BOSNIE ET HERZÉGOVINE.

		1880	1885	1890	1891	1892
Lignites	Kreka	»	9.074t	52.218t	64.279t	68.700t
	Zenica	492	12.952	6.385	9.600	14.280
	Divers	»	982	738	3.387	2.519
Total		492	23.008	66.341	77.266	85.499
Valeur		5.700f	160.000f	250.000f	340.000f	386.000f
Nombre d'ouvriers		16	143	215	320	390

Sel. — Mine de Simin-Han (Tuzla) : 8.000t, en 1892.

Minerai de fer. — Mine de Przici (Varès) : 6.100t donnant 3.173t de fonte en 1892.

Minerai de cuivre. — Mine de Sinjako (Vacar-Vakuf), à la Gewerkschaft Bosnia et mines de Dusina et Toplica (Kresovo) : 2.005t de minerai correspondant à 140 tonnes de cuivre en 1892.

Minerai de mercure. — Mine de Zec (Fojnica) : 3.440 kilogr. de cinabre, ayant donné 370 kilogr. de mercure, en 1892.

Minerai de manganèse. — Mine de Cevljanović (Serajevo) à la Gewerkschaft Bosnia : 7.944 tonnes en 1892.

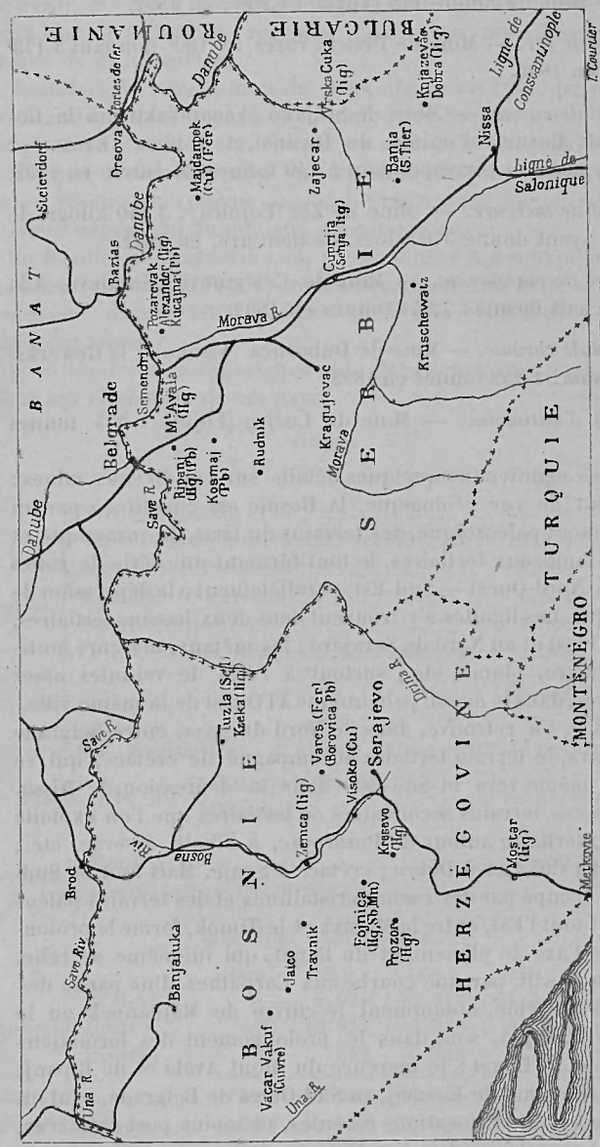
Minerai de chrome. — Mine de Dubostica (Visoko) à la Gewerkschaft Bosnia : 1.258 tonnes en 1892.

Minerai d'antimoine. — Mine de Lucica (Fojnik) : 275 tonnes en 1892.

Donnons maintenant quelques détails sur ces diverses mines :

Au point de vue géologique, la Bosnie est constituée par un soubassement paléozoïque, des terrains du trias, du jurassique et quelques lambeaux tertiaires, le tout formant une série de zones allongées Nord-Ouest — Sud-Est, parallèlement à la dépression de l'Adriatique. Les lignites s'y trouvent dans deux bassins tertiaires, au Nord-Ouest et au Nord de Serajevo ; les métaux, mercure, antimoine, cuivre, plomb, etc , surtout à l'état de veinules assez irrégulières, dans le massif paléozoïque à l'Ouest de la même ville.

En Serbie, on retrouve, dans le Nord du pays, entre Belgrade et la Morava, le terrain tertiaire accompagné de crétacé, qui se prolonge même vers le Sud-Est, dans la dépression de Nissa. C'est dans ces terrains secondaires ou tertiaires que l'on exploite le lignite : tertiaire autour de Pozarevac, à Sikole, Sisevac, etc. ; lias à Vrska Cuka et à Dobra ; crétacé à Senje. Mais tout le Sud-Ouest est occupé par des roches cristallines et des terrains paléozoïques, et tout l'Est, entre la Morava et le Timok, forme le prolongement de l'axe de plissement du Banat, qui lui-même se relie, comme on le sait, par une courbe aux Carpathes. Une partie des métaux de la Serbie, notamment le cuivre de Majdanpek ou le plomb de Kucajna, sont dans le prolongement des formations métallifères du Banat ; le mercure du mont Avala et de Ripanj, ainsi que le plomb de Kosmaj, au Sud-Ouest de Belgrade, sont en relations avec des dislocations récentes, au moins post-crétacées, du pays et avec des roches éruptives, trachytes, serpentines.



Carte des gites minéraux et métallifères de la Serbie, de la Bosnie et de l'Herzégovine.

Lignite. — En Serbie, la mine de lignite la plus importante et la mieux installée est la mine domaniale de *Senje*, près de Cuprija.

Cette mine, connue au début sous le nom d'Alexandrovac, attira d'abord l'attention en 1853 et fut exploitée pour l'alimentation de la fonderie de canons de Kragujevac, située à six jours de marche. En 1857, elle fournit 1.027 tonnes à l'arsenal ; mais le feu y prit à diverses reprises et fit interrompre les travaux. En 1869, elle passa à la banque Serbe, qui fut liquidée en 1870 ; mais on n'y commença les travaux sérieux qu'en 1889, quand on voulut alimenter avec du charbon national les chemins de fer serbes qu'on venait de racheter. C'est alors qu'on relia Senje à Cuprija, par une ligne à voie étroite de 22 kilomètres. Actuellement, cette mine produit environ 80.000 tonnes par an.

Le charbon s'y trouve en relation avec des couches crétacées reposant sur un conglomérat, superposé lui-même à du grès rouge d'âge secondaire et à des schistes primaires, et recouvertes par environ 8 mètres de tertiaire. Le grès rouge contient également de la houille.

Il paraît que la houille est connue sur 30 kilomètres de long et 12 kilomètres de large, avec une direction Nord-Sud. Elle comprend du lignite, du charbon bitumineux et de la houille anthraciteuse. Les deux premières catégories contiendraient seulement 2 à 4 p. 100 de cendres, de 25 à 35 p. 100 d'eau et donneraient 47 à 51 p. 100 de coke, 4.800 à 5.200 calories ; on en fait des briquettes en agglomérant avec de l'huile de schiste d'Alexinac. Le terrain exploité a 850 mètres sur 74. La longueur actuelle des niveaux de mine développés est d'environ 16 kilomètres. En 1891, on a vendu, principalement au chemin de fer serbe, pour 402.000 francs de charbon à des prix variant de 18 à 22 francs (rendu à Cuprija) et réalisé 17.000 francs de bénéfice.

La mine de *Vrska Cuka* est située beaucoup plus à l'Est, dans la vallée du Timok. Elle est exploitée par l'Industrielle serbe, formée en 1886, à Bruxelles, au capital de 7 millions.

Les couches, appartenant au lias, sont dirigées Nord-Sud, avec plongement Est de 20° à 90°. Les niveaux développés ont actuellement 3.000 mètres de long. Le nombre des ouvriers est de 250. Le charbon tombant en poussière quand il est exposé à l'air, on a installé, à 80 kilomètres de distance, une fabrique de briquettes reliée à la mine par une voie ferrée. Les résultats financiers de l'affaire sont mauvais.

Les lignites tertiaires d'*Alexander* sont à 3 kilomètres du

Danube et 8 kilomètres de Pozarevac; ils occupent 14 hommes; ceux de *Kostolac* (d'âge tertiaire) sont dans la même région, tout à côté du Danube, et occupent 44 hommes; à *Kamenac*, également à 7 kilomètres de Pozarevac, il y a une dizaine d'hommes occupés sur des lignites tertiaires.

En Bosnie, le lignite est également tertiaire.

La mine de *Kreka*, ouverte en 1885, donne un charbon assez propre, mais ayant un pouvoir calorifique faible, qui est employé dans le pays pour le chemin de fer, les salines de Tuzla, les sucreries d'Usora, près Doboj; 70 p. 100 des ouvriers y sont des indigènes (musulmans et chrétiens) ; 30 p. 100, des Austro-Hongrois. On les paye environ 3 francs par jour.

La mine de *Zenica*, ouverte en 1880, a alimenté la ligne de la Bosna jusqu'au moment où on a mis en exploitation le charbon plus propre de Kreka, qui lui a fait concurrence; actuellement, l'exploitation y a repris pour les usines de Serajevo; le prix sur place est de 4 à 12 francs la tonne.

Au moment de la construction de la ligne de la Narenta, on a, en outre, ouvert, près de *Mostar*, une petite mine de charbon qui a été bientôt abandonnée en 1887.

Fer. — La seule mine de fer un peu importante, dans la région dont nous nous occupons, est celle de Varès, en Bosnie, à 26 kilomètres de la station de Podlugovi, sur la ligne de Serajevo à Brod. Les produits de Varès avaient, au temps de l'occupation turque, une très grande réputation, qui s'étendait jusqu'en Asie-Mineure et en Égypte. L'annexion du pays à l'Autriche-Hongrie, en supprimant les droits de douane protecteurs, a ruiné cette industrie primitive. Cependant, en 1890, le gouvernement a pris la chose en main, pour secourir la population du voisinage, ouvert une exploitation à ciel ouvert à Przici, près Varès, construit un haut-fourneau produisant 17 tonnes par jour, établi une fonderie, etc.

Le minerai est surtout de l'hématite rouge, tenant 55 à 65 p. 100 de fer, et on a estimé le tonnage à près de 25 millions de tonnes.

Cuivre. — La mine de *Majdanpek*, en Serbie, fait partie de cette formation métallifère bien connue qu'on retrouve dans le Banat et la Hongrie, au contact de roches diverses, qualifiées de banatites, et des calcaires jurassiques ou néocomiens.

Son histoire, malheureuse, est celle de trop nombreuses mines métalliques : exploitée une première fois activement de 1719 à 1738, et détruite en 1738 par une bande de Bashi-Buazouks, elle

fut visitée, en 1835, par le baron Herder, et reprise en 1840. Les résultats furent plus que médiocres; de 1847 à 1858, Majdanpek perdit 6 millions, sans compter le travail gratuit imposé aux habitants. La mine fut donc abandonnée en 1858. En 1860, on la concéda à une Compagnie française, qui fit faillite en 1866, sans avoir commencé aucune exploitation sérieuse. Il y eut encore deux fois un résultat semblable par des Compagnies formées en 1868 et 1881, et enfin, actuellement, on fait une nouvelle tentative qui est, paraît-il, menée avec plus de suite que les précédentes.

Le gîte est formé en profondeur de divers sulfures métalliques, le long d'un pointement éruptif Nord-Sud de 4 kilomètres de long et 600 mètres de large, dans les calcaires jurassiques dolomitisés; mais les minerais exploités sont surtout des produits d'altération superficiels et oxydés : phillipsite, chalcopyrite, cuivre gris, cuprite, cuivre natif, chrysochole, chessylite, malachite, magnétite, hématite, blende, galène, etc..., tenant de 2 à 8 p. 100 de cuivre, avec beaucoup de kaolin (produit de décomposition de la roche éruptive).

De 1870 à 1890, on en a tiré 57.000 tonnes de minerai de cuivre, ou 2.419 tonnes de cuivre, valant 3 millions.

En 1890, on a extrait 6.178 tonnes de minerai (203 tonnes de cuivre), avec des frais d'extraction montant à 14 francs par tonne de minerai, ou 423 francs par tonne de cuivre. Le traitement est fait au waterjacket américain.

On obtient, en même temps, un peu de fer, mais seulement pour l'usage de la mine.

Mercure. — Il existe, en Serbie et Bosnie, un certain nombre de gisements de mercure renfermant souvent : en Bosnie, une association de cinabre avec barytine et cuivre gris, ou stibine; en Serbie, de cinabre avec galène et pyrite, c'est-à-dire faisant partie d'une veine de sulfures métallifères complexes, contrairement à ce qui se produit à Almaden et Idria, où le mercure est à peu près seul (*).

Au *Mont Avala*, à 3 kilomètres de la station de Ripanj, département de Podunavlje, peu au Sud de Belgrade, on a découvert, en 1883, un gisement qui a été exploité quelque temps par l'Anglo-

(*) Voir nos *Gîtes minéraux et métallifères*, p. 705 et 706. Nous avons décrit, p. 618, à Littai, en Carniole, un gîte présentant la même association de cinabre et de galène, qui est moins exceptionnelle qu'on ne le pense souvent.

Servian Joint Stock Company, formée en juin 1889, au capital de 4.500.000 francs et entrée en liquidation en décembre 1895.

Le minerai s'y présente dans des conditions qui rappellent celles de certains gîtes californiens, au contact de calcaires et d'une serpentine, résultant probablement de l'altération d'une roche à péridot. Il forme des lits imprégnés de cinabre et de galène, ayant de 2 à 15 mètres d'épaisseur, que l'on a exploités à Suplja Stena et à Rupine. En outre, plus au Nord-Est, on a trouvé, dans la serpentine même, d'énormes masses de quartz de 20 à 150 mètres, avec mouches de cinabre.

A Suplja Sena, où sont les principaux travaux, les minerais comprennent cinabre, mercure natif et calomel, avec beaucoup de sulfures nickélifères; on y a fait des travaux sur 104 mètres de haut.

En 1891, on a dépensé 60.157 francs à la mine, 57.179 à l'usine de distillation, soit 117.336 francs, et obtenu 216 tonnes de minerai, ou 20.643 kilos de mercure. On en a vendu à Vienne et Belgrade pour 113.000 francs.

La teneur moyenne est de 1,80 p. 100 de mercure, mais avec des variations de 0,2 p. 100 à 50 p. 100.

A *Ripanj*, à côté du Mont Avala, se trouve une autre Compagnie anglaise, la Ripanj Quicksilver and Silver mines Company, qui possède les deux mines de Ljuta Strana Tapavac et de Ripanjska Klisura.

Là, les minerais forment des nids, ou poches très irrégulières, au contact de calcaires et de grès et d'un trachyte qui les pénètre, mais surtout dans le calcaire; le cinabre, en quantités très faibles, est associé avec de la galène et de la pyrite. Les gîtes se relient à ceux du Mont Avala et à ceux de zinc de Ripa et Grabovac.

Il y a, à Ljuta, trois puits, d'une profondeur totale de 140 mètres, et 832 mètres de galeries.

En Bosnie, on a fait, à l'Ouest de Serajevo, à *Kresero*, *Prozor* et *Fojnica*, un certain nombre de recherches sans grands résultats sur des gisements présentant une association de cinabre, cuivre gris, stibine, barytine et quartz, dans des terrains paléozoïques.

Plomb, zinc, etc. — En divers points de la Serbie, à Avala, Kosmaj, Rudnik, Kopavnik, on a trouvé des accumulations de scories antiques; celles de *Kosmaj* ont été comparées, pour leur volume, à celles du Laurium, et leur âge, en partie romain, est prouvé par de nombreuses médailles qu'on y a rencontrées; on a estimé leur tonnage à 10.496 tonnes, pouvant contenir, d'après les analyses, 1.142 tonnes de plomb.

En 1877, le gouvernement serbe mit en vente ces scories, qui sont encore un peu argentifères, mais sans trouver d'acquéreur. Plus récemment, il a fait lui-même une petite tentative d'exploitation sur les filons d'où l'on avait extrait jadis la galène.

Dans le district de Podonavski, il existe également, dit-on, sur une étendue de 6 kilomètres, 126.000 mètres cubes de scories à 5 p. 100 de plomb et 900 grammes d'argent.

Dans les montagnes de Rudnik et Carcak, on parle encore de 20.000 mètres cubes de scories de cuivre, et d'autres amas semblables existent autour de Kopavnik (Krujevak et Carcak).

A *Kucajna* (Pozarevac), on a concédé, en 1863, pour trente ans, des gîtes de galène et de blende au contact de roches éruptives et de calcaires, c'est-à-dire dans les conditions habituelles du Banat. A la surface, le métamorphisme a transformé les sulfures en minerais oxydés occupant de larges poches dans le calcaire, et c'est sur ces poches qu'ont porté principalement les travaux.

Cette mine a été acquise, en 1893, par une Compagnie anglaise, et l'on y a fait quelques travaux.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1896 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Appell (P.). — Cours de mécanique de la Faculté des sciences. Traité de mécanique rationnelle. T. II : Dynamique des systèmes; Mécanique analytique. In-8°, 542 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 16 fr. (5143)

Autonne (L.). — Sur la représentation des courbes gauches algébriques et sur le nombre des conditions qui expriment qu'une courbe algébrique est située sur une surface algébrique. In-8°, 41 p. Paris, G. Masson. (Extr. des *Annales de l'Université de Lyon.*) (3477)

Carvallo (E.). — Méthode pratique pour la résolution numérique complète des équations algébriques ou transcendantes. In-4°, 32 p. Paris, Nony et C^ie^. (4491)

Gouilly (A.). — Géométrie descriptive. Sphère; Cône et cylindre de révolution; Sections coniques. In-16, 198 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2^f^,50. (2138)

Goursat (E.). — Leçons sur l'intégration des équations aux dérivées partielles du second ordre, à deux variables indépendantes. T. I^er^ : Problème de Cauchy; Caractéristiques; Intégrales intermédiaires. In-8°, VIII-226 p. Paris, Hermann. 7^f^,50. (2617)

(*) 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.

Jordan (C.). — Cours d'analyse de l'École polytechnique. 2^e^ édition, entièrement refondue. T. III : Calcul intégral; Équations différentielles. In-8°, XI-543 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 15 fr. (3064)

Klein (F.). — Leçons sur certaines questions de géométrie élémentaire. Possibilité des constructions géométriques; les Polygones réguliers; Transcendance des nombres e et π (démonstration élémentaire); par *F. Klein*, professeur à l'Université de Gœttingue. Rédaction française par *J. Griess*, professeur de mathématiques. In-8°, 99 p. avec fig. Paris, Nony et C^ie^. (4572)

Picard (E.). — Cours de la Faculté des sciences de Paris. Traité d'analyse. T. III : Des singularités des intégrales des équations différentielles; Étude du cas où la variable reste réelle; Des courbes définies par des équations différentielles; Équations linéaires; Analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. In-8°, XIV-588 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 18 fr. (5293)

Poincaré (H.). — Calcul des probabilités. Leçons professées au cours de physique mathématique, pendant le 2^e^ semestre 1893-1894, par *H. Poincaré*, membre de l'Institut. Rédigées par *A. Quiquet*, ancien élève de l'École normale supérieure. In-8°, 279 p. Paris, G. Carré. (389)

Poulain (A.). — Recherche sur la nouvelle géométrie du triangle; In-8°, 6 p. avec fig. Angers, imp. Germain et Grassin. (1759)

Tisserand (F.). — Recueil complémentaire d'exercices sur le calcul infinitésimal. 2^e^ édition, augmentée de nouveaux exercices sur les variables imaginaires par *P. Painlevé*, professeur adjoint à la Faculté des sciences de Paris. In-8°, XXIII-524 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (2774)

—— Traité de mécanique céleste. T. IV : Théories des satellites de Jupiter et de Saturne; Perturbations des petites planètes. In-4°, XII-548 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 28 fr. (3687)

2° *Physique et Chimie.*

Béhal (A.). — Traité de chimie organique, d'après les théories modernes; Précédé d'une préface par M. *Ch. Friedel*, de l'Institut. T. I^er^. In-8°, XV-963 p. avec 36 fig. Paris, Doin. (Complet en 2 volumes : 30 fr.) (2996)

Brochet (A.). — Action du chlore sur les alcools de la série grasse (thèse). In-8°, 115 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (3011)

Cotton (A.). — Recherches sur l'absorption et la dispersion de la lumière par les milieux doués du pouvoir rotatoire (thèse). In-8°, 99 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5190)

Couette (M.). — Réflexion et Réfraction du son. In-8°, 24 p. avec fig. Angers, Germain et Grassin. (1885)

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. 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. Fascicule 26. In-8° à 2 col., p. 401 à 480. Paris, Hachette et Cie. 2 fr. (1656)

—— T. II. Fascicule 27. In-8° à 2 col., p. 481 à 560. Paris, Hachette et Cie. Chaque fascicule, 2 fr. (5202)

Duhem (P.). — Sur l'électrodynamique des milieux diélectriques. Paris, Hermann. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (4287)

Guillaume (C.-E.). — Les Radiations nouvelles. Les Rayons X et la Photographie à travers les corps opaques. 2e édition. In-8°, VIII-144 p. avec fig. et planches. Paris, Gauthier-Villars et fils. (4555)

Hélier (H.). — Recherches sur les combinaisons gazeuses (thèse). In-4°, 87 p. avec fig. et planches. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5244)

Hurmuzescu (D.). — Nouvelle détermination du rapport v entre les unités électro-statiques et électro-magnétiques (thèse). In-4°, 99 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5247)

Issaly. — Optique géométrique. Septième mémoire : Propriétés polarisatrices des faisceaux de rayons de nature quelconque. In-8°, 62 pages. Bordeaux, impr. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (1018)

Jamin (J.) et Bouty. — Cours de physique de l'École polytechnique par M. *J. Jamin*. Premier supplément, par *M. Bouty*, professeur à la Faculté des sciences de Paris. Chaleur; Acoustique; Optique. In-8°, 190 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 3f,50. (1456)

Klobb (T.). — Nouvelles synthèses au moyen de l'éther cyanacétique (thèse). In-8°, 75 pages avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1953)

Le Dantec (L.-M.). — La Physique de l'électricité. In-8°, 340 p. avec figures. Paris, Michelet. (1244)

Lenoble (E.). — La Théorie atomique et la Théorie dualistique. Transformation des formules; Différences essentielles entre les deux théories. In-18 jésus, 99 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1472)

Lepercq (G.). — Action des azotites alcalins sur les éthers bromo-propioniques et bromo-butyriques (thèse). In-8°, 100 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1473)

Mascart (E.). — Leçons sur l'électricité et le magnétisme, d'*E. Mascart* et *J. Joubert*. 2e édition, entièrement refondue par *E. Mascart*, membre de l'Institut. T. Ier : Phénomènes généraux et Théorie. In-8°, III-843 p. avec 126 fig. Paris, Masson et Cie ; Gauthier-Villars et fils. 25 fr. (3383)

Niewenglowski (G.-H.). — La Photographie de l'invisible au moyen des rayons X ultra-violets, de la phosphorescence et de l'effluve électrique (historique, théorie, pratique des expériences de MM. Röntgen, G. Seguy, Ch. Henry, J. Perrin, G. Le Bon, A. et L. Lumière, Ch.-V. Zenger, Tommasi, etc.), avec nombreuses figures, dont plusieurs reproductions phototypographiques de clichés obtenus par MM. Imbert et Bertin-Sans, A. Londe, G. Seguy, Ch.-V. Zenger, etc. In-8°, 23 p. Paris, Desforges. 1f,50. (3842)

Ponsot (A.). — Recherches sur la congélation des solutions aqueuses étendues (thèse). In-8°, 119 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (2722)

Poulenc (C.). — Les Nouveautés chimiques. Nouveaux appareils de laboratoires ; Méthodes nouvelles de recherches appliquées à la science et à l'industrie. In-8°, 136 p. avec 62 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (3125)

Rey (J.). — Essais de Jean Rey, docteur en médecine, sur la recherche de la cause pour laquelle l'étain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine. Réimpression de l'édition de 1630, publiée avec préface par *Edouard Grimaux*, membre de l'Académie des sciences. In-16, 143 p. Paris, G. Masson. (4651)

Santini (E.-N.). — La Photographie à travers les corps opaques par les rayons électriques, cathodiques et de Röntgen, avec une étude sur les images photofulgurales. In-16, 108 p. avec 16 grav. Paris, Mendel. (2755)

Varet (R.). — Recherches sur les combinaisons du mercure (thèse). In-8°, 120 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (3186)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Boule (M.). — La Ballastière de Tilloux, près de Gensac-la-Pallue (Charente). In-8°, p. 495 à 509, avec fig. Paris, Masson. (Extr. de *l'Anthropologie.*) (245)

Bucquoy (E.), P. Dautzenberg et G. Dollfus. — Les Mollusques marins du Roussillon. T. II. Fascicule 11 : Pelecypoda (fascicule 24). In-8°, p. 541 à 620, avec 10 planches photographiées d'après nature. Paris, J.-B. Baillière et fils. (5167)

Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80.000. Feuille n° 17 : Cherbourg. 3 fr. — Feuille n° 153 : Saint-Jean-d'Angély. 6 fr. — Feuille n° 179 : Saint-Jean-de-Maurienne. 6 fr. — Feuille n° 179 *bis* : Bonneval. 3 fr. Avec notices explicatives. Paris, imp. Lemercier et C^ie^. (458)

—— Feuille n° 75 : Rennes. — Feuille n° 91 : Château-Gontier. — Feuille n° 157 : Gannat. Avec notices explicatives. Chaque feuille, 6 fr. Paris, imp. Erhard frères. (459)

Collection de minéralogie du Muséum d'histoire naturelle. Guide du visiteur. In-8°, 67 p. et plan. Paris, Laboratoire de minéralogie, 61, rue de Buffon. (2847)

Douvillé (H.). — Notice nécrologique sur Émile Bayle, ingénieur en chef des mines. In-8°, 15 p. Paris, Dunod et Vicq. (Extr. des *Annales des mines.*) (5022)

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 et permien d'Autun et d'Epinac. Fascicule 4 : Flore fossile (deuxième partie), par *B. Renault*, assistant au Muséum d'histoire naturelle. Texte. In-4°, 582 p. avec fig. et planches. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (3032)

Flers (H. de). — Deux hypothèses géologiques : Formation de la houille ; Déluge et Période glaciaire. Petit in-18, 54 p. Clermont, imp. du Journal de Clermont. (312)

Gentil (L.). — Sur les minéraux du cratère ancien de Ben-Ganah (Algérie, Oran). In-8°, 4 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. naturelle.*) (4796)

Girard (H.). — Manuel d'histoire naturelle. Aide-mémoire de minéralogie et de pétrographie. In-18 jésus, 272 p. avec 100 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (3576)

Glangeaud (P.). — Le Jurassique à l'ouest du plateau central. Contribution à l'histoire des mers jurassiques dans le bassin de l'Aquitaine. In-8°, 263 p. avec 45 fig. et 1 carte. Paris, Baudry et C^ie^ (*Bull. des services de la carte géologique de la France et des topographies souterraines.*) (1928)

Haug (E.). — Études sur la tectonique des hautes chaînes calcaires de Savoie. In-8°, 92 p. avec 6 planches et 13 fig. Paris, Baudry et C^ie^. (Même recueil.) (1685)

Lacroix (A.). — Minéralogie de la France et de ses colonies. Description physique et chimique des minéraux ; Étude des conditions géologiques de leurs gisements. T. I^er^. In-8°, p. 305 à 723, avec fig. (Deuxième partie.) Paris, Baudry et C^ie^. (2891)

—— Sur la structure cristalline et les propriétés optiques de la magnésite (écume de mer). In-8°, 4 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'hist. naturelle.*) (4330)

Lapparent (A. de). — Leçons de géographie physique. Ouvrage contenant 117 fig. dans le texte et 1 planche en couleurs. In-8°, VII-591 p. Paris, Masson et C^ie^. (4578)

Levy (A.-M.). — Étude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces (2° fascicule). Sur l'éclairement commun des plagioclases zonés ; Propriétés optiques du microcline. In-8°, p. 67 à 109, avec fig. Paris et Liège, Baudry et C^ie^. 2 fr. (2408)

Mermier (E.). — Sur la découverte d'une nouvelle espèce d'*Acerotherium* dans la mollasse burdigalienne du Royans. In-8°, 31 p. avec fig. et planche. Lyon, imp. Rey. (Extr. des *Annales de la Soc. linnéenne de Lyon.*) (742)

Piette (E.). — Hiatus et Lacune. Vestiges de la période de transition dans la grotte du Mas-d'Azil. In-8°, 44 p. Beaugency, imp. Laffray. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'anthropologie de Paris.*) (1994)

Préaubert (E.). — Sur la nature pétrologique des outils de pierre polie de l'Anjou. In-8°, 6 p. Angers, Germain et Grassin. (1761)

Priem (F.). — Cours de géologie. Paris. In-8°, 330 p., avec fig. 3^f^,50.

Ramond (G.). — Géologie de l'aqueduc de l'Avre, dérivation vers Paris des sources de la Vigne et de Verneuil. In-8°, 5 p. Paris, Impr. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'histoire naturelle.*) (5299)

Repelin (J.). — Étude géologique des environs d'Orléansville (thèse). In-4°, 206 p. et planches. Marseille, imp. Barthelet et C^ie^. (406)

Renault (B.). — Note sur les cuticules de Tovarkovo. Communication faite à la séance de la Société d'histoire naturelle d'Autun, le 15 septembre 1895. In-8°, 14 p. Autun, imp. Dejussieu

père et fils. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun.*) (3417)

Renault (B.). — Notice sur les Calamariées. In-8°, 56 p. et planches. Autun, imp. Dejussieu. (Extr. du même recueil.) (3418)

Spalikowski (E.). — De la difficulté de déterminer les races préhistoriques. In-8°, 3 p. Rouen, imp. Benderitter. (2492)

Spencer (H.). — Le Principe de l'évolution. Réponse à lord Salisbury. In-8°, 27 p. Paris, Guillaumin et C^ie^. (Extr. du *Journal des économistes.*) (1795)

Zurcher (P.). — Note sur la structure de la région de Castellane. In-8°, 37 p. avec 6 planches et 21 fig. Paris, Baudry et C^ie^. (*Bull. des services de la carte géologique de la France et des topographies souterraines.*) (2273)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Archambault de Vençay. — Les Chaudières et les Machines à vapeur à l'Exposition de Chicago. Communication faite à l'assemblée générale du 1^er^ juillet 1895 de la Société industrielle d'Amiens. In-8°, 47 p. Amiens, imp. Jeunet. (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle d'Amiens.*) (3215)

Boulvin (J.). — Cours de mécanique appliquée aux machines, professé à l'Ecole spéciale du génie civil de Gand. 5^e^ fascicule : Machines à vapeur. In-8°, 304 p. avec 280 fig. et 3 planches. Paris, Bernard et C^ie^. (4230)

Caralp (H.). — Chaudières et Machines de la marine de guerre, d'après les leçons professées à l'École navale. Première partie : Chaudières. In-8°, 334 p. avec fig. et planches. Paris, Challamel. (4981)

Carvallo. — Menus appareils électriques applicables aux manufactures de l'Etat. In-8°, 4 p. avec fig. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^ie^. (1630)

—— Monte-charge hydraulique. In-8°, 4 p. avec fig. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^ie^. (1631)

Chaudy (F.). — Machines hydrauliques. In-16, VIII-402 p. avec fig. Paris, V^e^ Dunod et Vicq. (2575)

Compte rendu des séances du dix-huitième congrès des ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, tenu à Paris en 1894. In-8°, 154 p. avec fig. et 15 planches. Paris, imp. Capiomont et C^ie^. (4255)

Delaunay-Belleville. — Guide des générateurs Belleville (en langue russe). In-8°, 76 p. Paris, Imp. nationale. (4271)

Desjuzeur (M.). — Note sur les niveaux d'eau et appareils de sûreté appliqués aux chaudières à vapeur. In-8°, 8 p. avec fig. Lyon, imp. Storck. (4772)

Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international, publiés sous la direction de M. Alfred Picard, rapporteur général. Groupe 6 : Machines et Appareils de la mécanique générale (troisième partie). Classe 52. Rapport du jury international, par M. *Hirsch*, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 704 p. avec fig. et planches, Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (4786)

Lefèvre (J.). — Les Moteurs (Moteurs hydrauliques; Moulins à vent; Moteurs à gaz tonnants). In-18 jésus, VI-384 p. avec 141 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (4109)

Lockert (L.). — Traité des véhicules automobiles. 2^e^ volume : les Voitures à vapeur. In-16, 252 p. avec fig. Paris, l'auteur, 19, rue Lourmel; Touring-Club de France. (1968)

Moteur rotatif à vapeur de la Société des moteurs système Filtz. Gr. in-8° à 2 col., 7 p. avec fig. et planche. Angers, impr. Burdin et C^ie^. (Extr. de *la Revue industrielle.*) (5083)

Poillon (E.). — Grille Kudlicz, lecture faite en assemblée générale du 3 novembre 1895 de la Société industrielle d'Amiens. In-8°, 35 p. avec fig. et planche. Amiens, imp. Jeunet. (3409)

Vigreux (L.). — Construction de machines à vapeur. Partie didactique, rédigée d'après le cours professé par M. *Ch. Bourdon*, à l'Ecole centrale des arts et manufactures, par *L. Vigreux*. In-8°, 128 p. avec fig. Paris, Bernard et C^ie^. 6 fr. (4438)

Vigreux (L.) et Milandre. — Etude d'une usine élévatoire pour irrigations avec machines à vapeur et roues élévatoires. In-8°, 171 p. et album in-4° de 19 planches. Paris, Bernard et C^ie^. 20 fr. (4439)

Walckenaer (C.). — Note sur un accident d'appareil à vapeur causé par l'entartrement rapide d'un tuyau d'alimentation. In-8°, 7 p. Paris, Dunod et Vicq. (Extr. des *Annales des mines.*) (5127)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Bourgois (C.). — Note sur les bénéfices à réaliser par l'extraction de l'ammoniaque du gaz des gazogènes. In-8°, 8 p. Paris, imp. P. Dupont. (1618)

CARNOT (A.). — Méthodes d'analyse des fontes, des fers et des aciers. In-8°, 189 p. avec fig. Paris, Vᵉ Dunod. (Ext. des *Annales des mines.*) (265)

DECRESPE (M.). — Electricité. 2 vol. in-16. Edition entièrement nouvelle, avec nombreuses figures. Première partie : Applications domestiques et industrielles, 187 p. ; deuxième partie : Conseils pratiques, Formules, Recettes, Plans et Devis, 184 p. Paris, Guyot. 20 centimes. (1181)

DEPREZ (M.). — Traité d'électricité industrielle théorique et pratique. 1ᵉʳ fascicule : Electricité statique et Magnétisme ; Electrométrie ; Magnétométrie. In-8°, II-368 p. avec fig. Paris, 17, rue des Bernardins. 12 fr. (4273)

GIRARD (A.). — Etude chimique du procédé d'épuration des alcools Bang et Ruffin. In-8°, 29 p. et planches. Paris, imp. Alcan-Lévy. (499)

GOBIN. — Rapport sur l'usine de chaux hydraulique et ciment de la vallée d'Amby (Isère). In-4°, 11 p. et plan. Lyon, imp. Nicolas. (5232)

GRANDEAU (L.). — Les Scories de déphosphoration (phosphates Thomas-Gilchrist). In-16, XVI-143 p. Paris, imp. Pariset. 1ᶠ,50. (3044)

JANET (P.). — Premiers principes d'électricité industrielle (piles, accumulateurs, dynamos, transformateurs). 2ᵉ édition, revue et corrigée. In-8°, X-279 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (90)

LEFVÈRE (J.). — Les Nouveautés électriques. In-18 jésus, 412 p. avec fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (4842)

LEFÈVRE (L.). — Traité des matières colorantes organiques artificielles, de leur préparation industrielle et de leurs applications. Préface de M. *Edouard Grimaux*, membre de l'Institut. 2 vol. In-8°, avec 31 fig. inédites et 261 échantillons teints ou imprimés sur soie, laine, coton, papier et cuir fabriqués spécialement pour cette édition, sous la direction de l'auteur. T. Iᵉʳ, XX-832 p. ; t. II, p. 833 à 1648. Paris, G. Masson. (3366)

L'HÔTE (L.). — Analyse des engrais. In-16, 208 pages. Paris, G. Masson ; Gauthier-Villars et fils. 2ᶠ,50. (1033)

LOIR. — Notes historiques sur la découverte de l'outremer artificiel. Suivi d'un cahier d'expériences de J.-B. Guimet (1826). In-4°, 23 pages. Lyon, imp. Plan. (730)

LOPPÉ (F.) et R. BOUQUET. — Traité théorique et pratique des courants alternatifs industriels. 2ᵉ volume : Partie pratique. In-8°, 479 p. avec fig. Paris, Bernard et Cⁱᵉ. 15 fr. (4348)

Manuel élémentaire d'électricité industrielle. In-16, 160 p. avec fig. Paris, Bernard et Cⁱᵉ. 1ᶠ,50. (4358)

Manuel pratique du conducteur de dynamos et moteurs électriques. In-16, 160 p. avec figures. Paris, Bernard et Cⁱᵉ. 1ᶠ,50. (4359)

MONMERQUÉ (A.). — Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. In-8°, XXXIV-494 p. avec fig. et tableau. Paris, Baudry et Cⁱᵉ. (2433)

MONTPELLIER (J.-A.). — Les Accumulateurs électriques (montage, installation, conduite, entretien). In-18 jésus, 228 p. avec 83 fig. Paris, Grelot. 5 fr. (1281)

PETIT (G.). — Les Applications du procédé de stérilisation de Williams Kuhn. In-4°, 12 p. Paris, 42, rue du Louvre. (Extr. du *Génie civil.*) (2449)

Petit Mémorial des électriciens. Renseignements techniques extraits du Formulaire de l'électricien, de l'Agenda Oppermann et de l'Aide-mémoire de l'électricien. Notes sur les accumulateurs, par M. *Dujardin ;* sur les dérangements des dynamos, par M. *Montpellier ;* sur les brevets d'invention, par MM. *Marillier* et *Robelet.* In-16, 224 p. avec fig. Paris, Boudreaux. (388)

Piles (les) et les Accumulateurs. In-16, 160 p. avec fig. Paris, Bernard et Cⁱᵉ. (4890)

PRAT (E.). — Les Appareils électriques du « Bouvines ». In-8°, 40 p. avec fig. Paris, Bandoin. (Ext. de la *Revue maritime et coloniale.*) (2220)

REYVAL (J.). — L'Eclairage de demain. L'Acétylène. In-8°, 76 p. avec fig. Paris, imp. Alcan Lévy. 2 fr. (4906)

SCHEURER-KESTNER. — Pouvoir calorifique des combustibles solides, liquides et gazeux. In-16, XIII-288 p. Paris, G. Masson. (3162)

SCHUTZENBERGER (P.). — Traité de chimie générale, comprenant les principales applications de la chimie aux sciences biologiques et aux arts industriels. T. III. 2ᵉ édition. In-8°, 639 p. Paris, Hachette et Cⁱᵉ. 14 fr. (416)

SEYEWETZ (A.) et P. SISLEY. — Chimie des matières colorantes artificielles. 1ᵉʳ fascicule : Considérations générales ; Matières colorantes nitrées ; Matières colorantes azoxyques ; Matières colorantes azoïques (première partie). In-8°, VIII-151 p. Paris, G. Masson. (4427)

VILLON (A.-M.). — Dictionnaire de chimie industrielle, contenant les applications de la chimie à l'industrie, à la métallurgie, à l'agriculture, à la pharmacie, à la pyrotechnie et aux arts et

métiers. T. Ier. Fascicules 11, 12 (non paginé, feuilles 110 à 119). In-4° à 2 col. Paris, Tignol. (4684)

Weill (L.). — L'Or (propriétés physiques et chimiques, gisements, extraction, applications, dosage). Introduction de M. *U. Le Verrier*, ingénieur en chef au corps des mines. In-16, 420 p. avec 67 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (3946)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Castelnau. — Etude du procédé de traitement dit de lixiviation, d'après des publications américaines. In-4°, 18 p. Paris, imp. Balitout. (1860)

Chassagnieux (F.). — Note sur les phosphates de l'Ouest algérien, province d'Oran (Algérie). In-4°, 8 p. et plan. Lyon, impr. Mougin-Rusand. (4987)

Cumenge (E.), E. Fuchs, F. Robellaz, C. Laforgue, E. Saladin. — L'Or : ses propriétés, ses gisements et son extraction. In-8°, 205 p. avec fig. Paris, imp. Ve Ethiou-Pérou. (4766)

Hubert (P.). — Traité pratique de l'enrichissement des phosphates. In-8°, III-170 p. Paris, Baudry et Cie. (2381)

La Coux (H. de). — L'Or (Gîtes aurifères ; Extraction de l'or ; Traitement du minerai ; Emplois et Analyse de l'or ; Vocabulaire aurifère). In-16, 332 p. avec fig. Paris, Tignol. (1956)

Launay (L. de). — L'Argent (géologie, métallurgie, rôle économique). In-18 jésus, VIII-382 p. avec 80 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (106)

—— Les Mines d'or du Transvaal (districts du Witwatersrand, d'Heidelberg et de Klerksdorp). In-8°, 203 p. Paris, Dunod et Vicq. (Extr. des *Annales des mines*). (2653)

—— Les Mines d'or du Transvaal. Etude géographique et historique ; Organisation des Sociétés minières ; Etude géologique ; Exploitation des gisements ; Traitement des minerais ; Résultats économiques. Gr. in-8°, XXXI-540 p. avec 81 fig. et 11 planches. Paris, Baudry et Cie. 15 fr.

Levat (E.-D.). — Mémoire sur l'exploitation de l'or en Sibérie orientale. Première partie : Transbaïkalie. Gr. in-8°, 205 p. et planches. Paris, Rouveyre. (4845)

Petit (P.). — Note sur un auto-capteur ou appareil servant à effectuer automatiquement, de façon continue, des prises d'air grisouteux ou de gaz quelconques. In-8°, 11 p. et planche. Paris, Dunod et Vicq. (Extr. des *Annales des mines.*) (5100)

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1894, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale. In-4°, 246 p. avec tracés graphiques. Paris, Ve Dunod ; Baudry et Cie. 10 fr. (Ministère des travaux publics.) (886)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Alexandre (P.). — Recherches expérimentales sur les mortiers hydrauliques. In-8°, 156 p. Paris, Ve Dunod. (Ext. des *Annales des ponts et chaussées.*) (3952)

Bâton-pilote électrique, système A. Chassin, pour l'exploitation d'un tronc commun à voie unique de deux lignes de chemins de fer. In-8°, 12 p. Paris et Liège, Baudry et Cie. (Ext. des *Nouvelles Annales de la construction.*) (2057)

Carte des chemins de fer français, à l'échelle de 1/1.250.000, dressée au ministère des travaux publics (direction des chemins de fer). Paris, C. Delagrave. (425)

Delran (M.). — Manuel synoptique des tarifs des chemins de fer, contenant la nomenclature alphabétique des gares de la France, complément de la carte graphique des chemins de fer français, indiquant la distance hectométrique des gares entre elles, etc. Gr. in-8° à 2 col., IV-147 p. Paris, Dunod et Vicq. Perpignan, l'auteur, 8, rue Dugommier. (1410)

Des Cilleuls (A.). — Origines et développement du régime des travaux publics en France. In-8°, XXVI-309 p. Paris, Imp. nationale. (1186)

Dubosque (J.). — Etudes théoriques et pratiques sur les murs de soutènement et les ponts et viaducs en maçonnerie. A l'usage des ingénieurs et conducteurs des ponts et chaussées, des officiers et adjoints du génie, des chefs de section des chemins de fer, des agents voyers, etc. 5e édition, revue, corrigée et augmentée. In-8°, III-380 p. avec 141 fig. et 15 planches. Paris, Baudry et Cie. (2340)

Essieu extensible pour tramways, système Lau. In-f° à 3 col., 1 p. avec fig. Angers, imp. Burdin et Cie. (Ext. de la *Revue industrielle.*) (1905)

Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du gouvernement français. Comité 16 : Matériel des chemins de fer ; Matériel moteur et roulant ; Machines locomotives. Rapport

de M. *George Whaley*, ingénieur principal des ateliers des Chemins de fer de l'Ouest, commissaire-rapporteur. Gr. in-8°, 320 p. avec fig. et planches. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (815)

Ferrette (H.). — Étude historique sur l'intervention financière de l'État dans l'établissement des lignes de chemins de fer (thèse). In-8°, 198 p. Paris, Larose. (1200)

Gaure (J.). — Le Guide en chemin de fer. Les Droits du voyageur et de l'expéditeur, contenant : aperçu général sur l'exploitation des chemins de fer, transport des personnes, ce qui est permis et ce qui est défendu aux voyageurs, tarifs, billets, voyageurs privilégiés, bagages, etc. 2e édition. In-8°, 48 p. Paris, Chevalier-Marescq et Cie. 1 fr. (3571)

Grandeau (L.). — Études agronomiques. 7e série (1892-1895). In-16, x-316 p. avec 5 photogravures. Paris, Hachette et Cie. 3f,50. (5237)

Hartmann (L.). — Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts. In-8°, 201 p. avec fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. (3335)

Issartier (P.). — Notice sur un projet d'ascenseur pour le Mont-Blanc. In-8°, 27 p. et planches. Marseille, imp. Barthelet et Cie. (Extr. du *Bull. de la Société scient. de Marseille.*) (4094)

Lois, Règlements et Conventions relatifs aux chemins de fer d'intérêt local et aux tramways. Première partie : Documents concernant le réseau concédé à la Société des chemins de fer économiques. Deuxième partie : Documents généraux. Grand in-8°, 149 p. Bordeaux, imp. Demachy, Pech et Cie. (4117)

Notice sur un appareil destiné à la mesure des flèches dans les épreuves de ponts métalliques. In-8°, 6 p. avec fig. Paris, imp. Hennuyer. (Extr. de la *Revue pratique des travaux publics.*) (1287)

Paul-Dubois (L.). — Les Chemins de fer aux États-Unis. In-18 jésus, vii-273 p. Paris, Colin et Cie. (4624)

Seguela (R.). — Les Tramways. Voie et Matériel. In-16, 482 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; Masson et Cie. 2f,50. (4660)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1894. Documents principaux. In-4°, 482 p. et carte en coul. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (2249)

Tramways (les) pneumatiques Popp-Conti. In-8°, 40 p. avec fig. et 2 planches. Paris, 64, Chaussée-d'Antin. (2015)

Voie de tramway électrique à conducteur souterrain, système Hoerde. In-4°, à 3 col., 2 p. avec fig. Angers, imp. Burdin et Cie. (Extr. de la *Revue industrielle.*) (3461)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Cambon. — Discussion des interpellations sur les concessions de phosphates en Algérie. Discours prononcé à la séance de la Chambre des députés du 24 décembre 1895. In-16, 47 p. Paris, imp. des journaux officiels. (Extr. du *Journal officiel*). (957)

Cheysson (E.). — L'assurance obligatoire contre l'insolvabilité en matière d'accidents. Observations présentées le 24 décembre 1895, devant la Société d'économie sociale. In-8°, 14 p. Paris, Guillaume et Cie. (Extr. de la *Réforme sociale.*) (3514)

Darcy (H.). — La Question des accidents du travail devant le Sénat. 2e édition. In-8°, xiii-50 p. Paris, imp. Chaix. (1177)

Fabreguettes (P.). — La Question sociale. Le Contrat de travail ; les Coalitions et les Grèves devant la loi; Rôle des syndicats ; Arbitrage ; Conciliation (législation ouvrière). In-8°, 124 p. Toulouse, Soubiron frères. (4534)

Laferrière (E.). — Traité de la juridiction administrative et des recours contentieux. 2e édition. 2 vol. In-8°. T. Ier : Notions générales ; Législation comparée ; Histoire ; Organisation ; Compétence, xix-724 p. T. II : Compétence (suite) ; Marchés et autres contrats; Dommages; Responsabilité de l'État; Traitements et Pensions ; Contributions directes; Elections; Recours pour excès de pouvoir ; Interprétation ; Contraventions de grande voirie, 713 p. Paris, Berger-Levrault et Cie. 25 fr. (99)

Matignon (E.). — Question sociale. Des accidents du travail. Réfutation du projet de loi voté par le Sénat en première délibération sur la responsabilité des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail. In-8°, 44 p. Paris, imp. Duruy. (737)

Office du travail. Salaires et Durée du travail dans l'industrie française. T. III : Industries du bois; Tabletterie; Métaux; Travail des pierres et des terres; Établissements de l'État ou des communes dans les départements autres que celui de la Seine ; Entreprises de transport en commun. In-8°, 654 p. Paris, Berger-Levrault et Cie. (Ministère du commerce.) (1990)

—— Statistique des grèves et des recours à la conciliation et à l'arbitrage survenus pendant l'année 1895. In-8°, xii-336 p. Paris, Berger-Levrault et Cie. (Ministère du commerce.) (4381)

Pagot (E.). — Étude sur le contrat d'assurance contre les accidents. In-8°, 155 p. Paris, Warnier et Cie. 10 fr. (555)

Poirrier. — Discussion du projet de loi relatif aux accidents du travail. Discours prononcés au Sénat (1895-1896). In-16, 355 p. Paris, imp. des journaux officiels. (Extr. du *Journal officiel.*) (4628)

Villot. — Étude administrative sur les mines de Rancié. In-8°, 65 p. Paris, Dunod et Vic. (Extr. des *Annales des mines.*) (4952)

9° *Objets divers.*

Buchetti (J.). — Aide-mémoire français. Mécanique générale ; Electricité. In-18 jésus, IX-526 p. avec fig. Paris, l'auteur, 92, boulevard Saint-Germain. (252)

Desgraviers (F.). — Guide pratique du cultivateur sur l'emploi des engrais chimiques. In-18, 20 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (2859)

Picard (A.). — Traité des eaux (droit et administration). 2e édition. 2 vol. In-8°, T. Ier : Eaux pluviales ; Eaux souterraines et Sources ; Cours d'eau non navigables et flottables (première partie) ; VI-526 p. T. II : Cours d'eau non navigables ni flottables (suite) ; Cours d'eau flottables à bûches perdues ; 603 p. Paris, Rothschild. (L'ouvrage complet formera 5 volumes.) (4889)

Roger (E.). — Recherches sur le système du monde. In-4°, 51 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 5 fr. (3149)

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Barker (A.-H.). — Graphical calculus. With an Introduction by *J. Goodman.* In-8°, 198 p. Longmans. 5f,65.

Cayley (A.). — Collected Mathematical Papers. 13 vols. Vol. 9. In-4°. Cambridge University Press. 31f,25.

Chrystal (G.). — A fundamental Theorem regarding the Equivalence of Systems of ordinary linear differential Equations and its Application to the Determination of the Order and the systematic Solution of a determinate System of such Equations. Edimbourg. In-4°, 14 p. 1f,90.

Edwards (J.). — An Elementary Treatise on the differential Calculus. With Applications and numerous Examples. 3rd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 546 p. Macmillan. 17f,50.

Loudon (W.-J.). — An Elementary Treatise on Rigid Dynamics. In-8°, 246 p. Macmillan. 13f,15.

2° *Physique et Chimie.*

Aveling (E.). — Mechanics and Experimental Science : Heat and Light. In-8°, Chapman and Hall. 3f,15.

Beattie (J.-C.). — On the Relation between the Variation of Resistance in Bismuth in a steady magnetic Field and the rotatory or Transverse Effect. Londres. In-4°, 11 p. avec 1 planche. 1f,50.

Catchpool (E.). — A Text-Book of Sound. 2nd ed. With numerous Diagrams and Examples. The Tutorial Physics. Vol. I. In-8°, 212 p. Clive. 4f,40.

Comey (A.-M.). — A Dictionary of Chemical Solubilities : Inorganic. In-8°, 546 p. Macmillan. 18f,75.

Faraday (M.). — The Liquefaction of Gases. Papers (1823-1845). With and Appendix consisting of Papers by *Thomas Northmore* on the Compression of Gases (1805-1806). In-8°, 80 p. Simpkin. 2f,50.

Glazebrook (R.-T.). — James Clerk Maxwell and Modern Physics. In-8°, 222 p. Cassel. 4f,40.

Jago (W.). — Inorganic Chemistry, Theoretical and Practical. With an Introduction to the Principles of Chemical Analysis, Inorganic and Organic. An Elementary Text-Book. Re-written and Enlarged. In-8°, 446 p. Longmans. 3f,15.

Langmuir (A.-C.). — Index to the Literature of Didymium. 1842-93. In-8°. Wesley. 1f,90.

Maclean (M.). — Physical Units. In-8°, 152 p. Biggs. 3f,15.

Morley (E.-W.). — On the Densities of Oxygen and Hydrogen, and on the Ratio of their Atomic Weights. With Engravings. In-8°. Wesley. 6f,25.

Orford (H.). — Modern Optical Instruments and their Construction. Illust. In-8°, 106 p. Whittaker. 3f,15.

Roscoe (H.-E.) and Harden (A.). — A New View of the Origin of Dalton's Atomic Theory : A Contribution to Chemical History ;

together with Letters and Documents concerning the Life and Labours of John Dalton, now for the first time Published from Manuscript in the Possession of the Literary and Philosophical Society of Manchester. In-8°, 202 p. Macmillan. 7f,50.

SEDGWICK (W.). — Argon and Newton. In-8°, 286 p. Londres. 11f,25.

STRUTT (J.-W. BARON RAYLEIGH). — The Theory of Sound. In 2 vols. Vol. 2. 2nd ed. Revised and Enlarged. In-8°, 520 p. Macmillan. 15 francs.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

BARNES (C.-L.). — Geology. With Illusts. In-8°, 190 p. Rivington, Percival and Co. 3f,15.

CADELL (H.-M.). — The Geology and Scenery of Sutherland. Illustrations and Geological Maps. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 108 p. Edimbourg, D. Douglas. 5 francs.

Memoirs of the Geological Survey. England and Wales. The Geology of Part of Northumberland, including the Country between Wooler and Coldstream. Explanation of Quarter-Sheet 110 S.W., New Series, Sheet 3. By *W. Gunn* and *C. T. Clough*. With Petrological Notes by *W. W. Watts*. 1f,90.

—— The Jurassic Rocks of Britain. Vol. 5. The Middle and Upper Oolitic Rocks of England (Yorkshire excepted). By *H.-B. Woodward*. 9f,40.

Student's Lyell (The). A Manual of Elementary Geology. Edit. by *J.-W. Judd*. With a Geological Map and 736 Illust. in the Text. In-8°, 660 p. Murray. 11f,25.

WOODWARD (H.-B.). — Geology of England and Wales. In-8°. G. Philip and Son. 11f,25.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

BJORLING (P.-R.). — Pumps and Pump Motors : A Manual for the Use of Hydraulic Engineers. Plates. 2 vols. In-4°, 398 p. Spons. 78f,75.

CLARK (D.-K.) — The Mechanical Engineer's Pocket Book of Tables, Formulæ, Rules and Data: A Handy Book of Reference for Daily Use in Engineering Practice. 3rd ed., Revised. In-12, 698 p. Crosby Lockwood and Son. 7f,50.

COTTERILL (J.-H.). — The Steam Engine Considered as a Thermodynamic Machine : A Treatise on the Thermodynamic Efficiency

of Steam Engines. Illust. by Diagrams, Tables and Examples from Practice. 3rd ed., Revised. In-8°, 444 p. Spons. 18f,75.

KNIGHT (J.-H.). — Notes on Motor Carriages: With Hints for Purchasers and Users. With Illusts. In-8°, 84 p. Hazell, Watson and Viney. 1f,25.

Parliamentary. — Compressed gas cylinders. Causes of the explosion and the Precautions required to ensure the safety of. Report of Home Office Committee. Numerous Illustrations and Plates, showing Results of Experiments. 1f,80.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

BLOUNT (B.) and BLOXAM (A.-G.). — Chemistry for Engineers and Manufacturers : A Practical Text-Book, with Illusts. Vol. 1, Chemistry of Engineering, Building and Metallurgy. In-8°, 254 p. C. Griffin and Co. 13f,15.

BONNEY (T.-G.). — Ice-Work, Present and Past. Maps, Illust. In-8°, XIV-295 p. Paul, Trübner and Co. 6f,25.

BOTTONE (S.-R.). — The Dynamo : How Made and How Used. 9th ed. With Additional Matter and Illusts. In-8°, 122 p. Swan Sonnenschein. 3f,15.

Chemical Manufacturers' Directory of England, Wales and Scotland : with some of the Firms in Ireland. Being a List of the Principal Manufacturers of Chemicals used in Commerce, Medicine, Agriculture and the Arts. 28th ed. In-8°, 108 p. Simpkin. 3f,15.

CROCKER (F.-B.). — Electric Lighting : A Practical Exposition of the Art : For the Use of Engineers, Students and others Interested in the Installation or Operation of Electrical Plants. Vol. 1, The Generating Plants. In-8°, 452 p. Spons. 15f,65.

EISSLER (M.). — The Metallurgy of Silver : A Practical Treatise on the Amalgamation, Roasting and Lixiviation of Silver Ores; Including the Assaying, Melting and Refining of Silver Bullion. 3rd ed., with 150 Illusts. In-8°. Crosby Lockwood and Son. 13f,15.

FLEMING (J.-A.). — The Alternate Current Transformer in Theory and Practice. Vol. 1, The Induction of Electric Currents. New ed. In-8°, 620 p. Electrician Co. 15f,65.

FORBES (G.). — Alternating and Interrupted Electric Currents :

Being Based upon Three Lectures Delivered to the Members of the Royal Institution. Illust. In-8°, 102 p. Biggs. 3f,15.

Hornby (J.). — A Text-Book of Gas Manufacture for Students. In-8°, 276 p. G. Bell and Sons. 6f,25.

Iron and Steel Industries (The) of Belgium and Germany. Report of the Delegation Organised by the British Iron Trade Association, 1896. In-8°. P. S. King and Son. 6f,25.

Kingdon (J.-A.). — Applied Magnetism: An Introduction to the Design of Electromagnetic Apparatus. Illust. In-8°, 292 p. Alabaster, Gatehouse and Co. 9f,40.

Lunge (G.). — A Theoretical and Practical Treatise on the Manufacture of Sulphuric Acid and Alkali, with the Collateral Branches. 2nd ed., Revised and Enlarged. Vol. 3. In-8°, 862 p. Gurney and Jackson. 52f,50.

Maycock (W.-P.). — Electric Lighting and Power Distribution: An Elementary Manual on Electrical Engineering suitable for Students preparing for the Preliminary and Ordinary Grade Examinations of the City and Guilds of London Institute. 3rd ed. thoroughly Revised and Enlarged. In 2 vols. Vol. 1. In-16, 450 p. Whittaker. 7f,50.

Phillips (H.-J.). — Fuels: Solid, Liquid and Gaseous: Their Analysis and Valuation. For the Use of Chemists and Engineers. 3rd ed. In-8°, 120 p. Crosby, Lockwood and Son. 2f,50.

Spears (J.-C.). — Machinery and Apparatus for Manufacturing Chemists. In-8°, 94 p. Malborough. 4f,40.

Tayler (A.-J.-W.). — Refrigerating and Ice-Making Machinery: A Descriptive Treatise for the Use of Persons Employing Refrigerating and Ice-Making Installations, and others. In-8°, 296 p. Crosby Lokwood and Son. 9f,40.

Verity (J.-B.). — Electricity up to Date for Light, Power and Traction. 5th ed. In-8°, 250 p. Warne. 3f,15.

Wanklyn (J.-A.) and Chapman (E.-T.). — Water Analysis: A Practical Treatise on the Examination of Potable Water. 10th ed. Revised and partly Re-written by *J.-A. Wanklyn*. In-8°, 206 p. Paul, Trübner and Co. 6f,25.

6° *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*

Beeman (G. B.) and Mathieson (F.-C. and Sons). — Australian Mining Manual; A Handy Guide to the West Australian Market. In-12, 250 p. E. Wilson. 5 fr.

Brough (B.-H.). — A Treatise on Mine Surveying. 5th ed., Revised. With numerous Diagrams. In-8°, 350 p. C. Griffin and Co. 9f,40.

Davies (H.). — Guide to Mining Examinations. Part 3, Mining Machinery. With numerous Diagrams, Folding Plates and Examination questions. In-8°, 206 p. Simpkin. 6f,25.

Papers and Official Reports on the Minerals and Mining (of Gold, Coal, Quartz, Iron Ores, etc.) in New-Zealand. Over 300 p. With Plates and Map. In-fol. Paul, Trübner and Co. 9f,40.

Parliamentary. — Explosives. Inspectors' Reports for 1895. 20th Annual. 1f,80.

—— —— Mines and Minerals. First Annual General Report upon the Mineral Industry of the United Kingdom for the Year 1864. Maps and Diagrams. 4f,40.

—— Mines. Accident at Kinneddar Colliery, Fifeshire, 31st May, 1895. Report. Plans. 0f,85.

—— —— Inundation of Audley Colliery, Staffs, Jan. 14, 1895. Report. Plans. 1f,05.

—— Mines and Quarries. Inspectors' Reports for 1895. N° 2. West Scotland District. 1f,40.

—— —— Ditto. N° 11. South Staffordshire District. 0f,35.

—— —— Ditto. N° 13. South Wales District. 0f,35.

Redwood (B.), Holloway (G.-T.) and Others. — Petroleum: A Treatise on the Geographical Distribution and Geological Occurrence of Petroleum and Natural Gas; The Physical and Chemical Properties, Production and Refining of Petroleum and Ozokerite, etc. With numerous Maps, Plates, and Illusts. in the Text. 2 vol. In-8°, 932 p. C. Griffin and Co. 56f,25.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Buck (J.-H.-W.). — Handy General Earthwork Tables. In-4°. Crosby Lockwood and Son. 4f,40.

Cole (W.-H.). — Notes on Permanent-Way Material, Plate-laying and Points and Crossings. With a few Remarks on Signalling and Interlocking. 2nd ed. In-8°, 176 p. Spons. 9f,40.

Fletcher (W.). — The History and Development of Steam Locomotion on Common Roads. 108 Illusts. In-8°. Spons. 6f,25.

Krohnke (G.-H.-A.). — Handbook for Laying Out Curves on Rail-

ways and Tramways. Calculated for every possible Angle and Radius. In-8°, 174 p. Paul, Trübner and Co. 6f,25.

Mackay (J.-C.). — Light Railways for the United Kindom, India and the Colonies : A Practical Handbook, Setting Forth the Principles on which Light Railways should be Constructed, Worked and Financed, and Detailing the Cost of Construction, etc. Illust. with Photographic Plates and other Diagrams. In-8°, 322 p. Crosby Lockwood and Son. 18f,75.

Newman (J.). — Metallic Structures: Corrosion and Fouling, and their Prevention. A Practical Aid-Book to the Safety of Works in Iron and Steel, and of Ships; and to the Selection of Paints for them. In-8°, 386 p. Spons. 11f,25.

Parliamentary. — Railways and other Private Bills, 1896. Board of Trade Report. 0f,65.

—— Railways. Accidents. Returns and Inspectors' Reports for 1895. 2f,30.

—— Railways. Continuous Brakes. Returns, Jan.-June, 1895. 1f,30.

—— Station Name Boards. Circular of the Board of Trade and Correspondence. 0f,65.

—— Under Bridges. Board of Trade Circular and Correspondence. 2f,30.

Trevithick (F.-H.). — The History and Development of the Railway System in Japan; Statistics, etc. In-8°, 145 p. Paul, Trübner and Co. 10 fr.

Simms (F.-W.). — Practical Tunnelling. 4th ed., Revised and Greatly Extended, with Additional Chapters Illustrating Recent Practice, by *W. Kinnear Clark*. With 36 Plates and other Illusts. In-8°, 580 p. Crosby, Lockwood and Son. 52f,50.

8° *Objets divers.*

Cameron (C.-A.). — Elementary Agricultural Chemistry and Geology. In-12, 168 p. Dublin, Hodges, Figgis and Co. Simpkin. 1f,90.

Engineering Estimates, Costs and Accounts : A Guide to Commercial Engineering. With numerous Examples of Estimates and Costs of Millwright Work, Miscellaneous Production, Steam Engines and Steam Boilers, and a Section on the Preparation of Costs and Accounts. By a General Manager. 2nd ed. In-8°, 268 p. Crosby Lockwood and Son. 15 fr.

Griffin's Electrical Engineers' Price-Book. For the Use of Electrical, Civil, Marine and Borough Engineers, Architects, Railway Contractors, Local Authorities, etc. Edit. by *H.-J. Dowsing*. New ed., Revised throughout and Enlarged. In-8°, 490 p. C. Griffin. 10f,65.

Jordan (C.-H.). — Tabulated Weights of Angle, Tee, and Bulb Iron and Steel and other Information for the Use of Naval Architects, Shipbuilders and Manufacturers. 5th ed., Revised and Enlarged. In-32, xi-379 p. Spons. 9f,40.

Lock (C.-G.-W.). — Miners' Pocket-Book; A Reference Book for Miners, Mine Surveyors, Geologists, Mineralogists, Millmen, Assayers, Metallurgists, and Metal Merchants, all over the World. 2nd ed., revised. In-12, 488 p. Spons. 15f,65.

Kempe (H.-R.). — The Engineer's Year-Book of Formulæ, Rules, Tables, Data and Memoranda in Civil, Mechanical, Electrical, Marine and Mine Engineering, 1896. With about 800 Illusts. In-8°, xx-652 p. Crosby Lockwood and Son. 10 fr.

Robb (R.). — Electric Wiring. For the Use of Architects, Underwriters, etc. In-8°, 184 p. Macmillan. 12f,50.

Warn (R.-H.). — The Sheet-Metal Worker's Instructor : Comprising a Selection of Geometrical Problems and Practical Rules for Describing the Various Patterns Required by Zinc, Sheet-Iron, Copper and Tin-Plate Workers. New ed., Revised and Greatly Enlarged by *J.-C. Horner*, with more than 400 Illusts. In-8°, 254 p. Crosby Lockwood and Son. 9f,40.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

Beman (W.-W.) and Smith. — Plane and Solid Geometry. In-8°, 329 p. Boston, Ginn and Co. 8f,15.

Cope (E.-D.). — The primary Factors of organic Evolution. With Illustr. In-8°. Chicago. 13f,50.

Howell (G.-F.). — Steam Vessels and Marine Engines. With Portrait and Illustr. In-4°. New-York. 37f,50.

Lang (H.). — Matte smelting, its principles and later developments discussed; with an account of the pyritic processes. In-8°, 98 p. New-York, Londres, Scientific Publishing Co.

Laugeubeck (K.). — The Chemistry of Pottery. With 22 Illusts. In-12, 197 p. Easton. Edimbourg, F. Clay. 10f,65.

Mercer (H.-C.). — The Hill-Caves of Yucatan; A Search for Evidence of Man's Antiquity in the Caverns of Central America. In-8°, 187 p. Philadelphie, J.-P. Lippincott Co. 12f,50.

Richards (J.-W.). — Aluminium : Its History, Occurrence, Properties, Metallurgy and Applications, including Alloys. 3rd ed., Revised and Enlarged. Illust. by 44 Engravings and 2 Diagrams. In-8°, 702 p. Philadelphie. 37f,50.

Risteen (A.-D.). — Molecules and the molecular Theory of Matter. In-8°, VIII-223 p. Boston. 13f,50.

Williams (H.-S.). — Geological biology. In-8°, XIX-395 p. New-York. 21 fr.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Cantor (M.). — Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. III. Bd. Vom Jahre 1668 bis zum Jahre 1759. 1. Abtlg. Die Zeit von 1668-99. 2. Abtlg. Die Zeit von 1700-1726. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, 251 p.; p. 253-472 avec 30 fig.; VII-883 p. avec 114 fig. et 1 planche. Chaque fascicule 7f,50. (1633)

Grassmann's (H.) Gesammelte mathematische und physikalische Werke. Herausgegeben von *F. Engel*. I. Bd. 2. Thl. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, VIII-511 p. avec 37 fig. 20 fr. (1282)

Klein (F.). — Lineare Differentialgleichungen der zweiten Ordnung. Göttingue, Selbstverlag. In-8°, 524 p. 11f,70. (141)

—— Ueber die hypergeometrische Funktion. Göttingue, Selbstverlag. In-8°, 589 p. 12f,50. (142)

—— Höhere Geometrie. Heft 1 u. 2. Göttingue, Selbstverlag. In-8°, 566 et 388 p. 20f,90. (143)

—— Nicht-Euklidische Geometrie. Heft 1 u. 2. Göttingue, Selbstverlag. In-8°, 364 et 238 p. 19f,15. (144)

—— Riemann'sche Flächen. Heft 1 u. 2. Göttingue, Selbstverlag. In-8°, 254 et 262 p. 16f,90. (145)

2° *Physique et Chimie.*

Ahrens (F.-B.). — Handbuch der Elektrochemie. Stuttgart. In-8°, VIII-540 p. avec 281 fig. 16f,25. (861)

Boltzmann (L.). — Vorlesungen über Gastheorie. I. Thl. Theorie der Gase mit einatomigen Molekülen, deren Dimensionen gegen die mittlere Weglänge verschwinden. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, VIII-204 p. 7f,50. (123)

Bütschli (O.). — Ueber den Bau quellbarer Körper und die Bedingungen der Quellung. (Extr. des *Abhandl. d. k. Gesellsch. der Wissenschaften zu Göttingen.*) Göttingue, Dieterich. In-4°, 68 p. avec 5 fig. 10 fr. (870)

Drude (P.). — Ueber die anomale elektrische Dispersion von Flüssigkeiten. Leipzig, S. Hirzel. In-8°, 58 p. avec 2 fig. et 1 planche. 2f,50. (1274)

Eder (J.-M.) und E. Valenta. — Ueber die Spectren von Kupfer, Silber und Gold. Vienne, C. Gerold's Sohn. In-4°, 47 p. 4 fr. (1277)

Groshans (J.-A.). — Darstellung der physikalischen Eigenschaften der chemischen Verbindungen Cp Hq Or als Funktion der Atomsumme oder Densitätszahl p + q + r. Berlin, R. Friedländer und Sohn. In-8°, VI-224 p. 7f,50. (879)

Haber (F.). — Experimental-Untersuchungen über Zersetzung und Verbrennung von Kohlenwasserstoffen. Munich, R. Oldenbourg. In-8°, 116 p. avec fig. 1f,90. (1641)

Handbuch der Physik, unter Mitwirkung von F. Auerbach, F. Braun, E. Brodhun u. A. herausgegeben von *A. Winkelmann*. III. Bd. 27. Lfg. Breslau, E. Trewendt. In-8°, avec fig. 4f,50. (136)

—— —— III. Bd. 28. u. 29. Lfg. Breslau, E. Trewendt. In-8°, avec fig. Chaque livraison 4f,50. (1283)

—— —— III. Bd. 29. u. 30. Lfg. Breslau. E. Trewendt. In-8°. II. Bd. 2. Abth. VI p. et p. 625-887 et LV p. avec 128 fig., un sommaire et une table des noms pour tout l'ouvrage (Fin). Chaque livraison 4f,50. (1642)

Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von *A. Ladenburg*. 78. Lfg. Brunswick, Vieweg. In-8°. 3 fr. (138)

—— —— Generalregister. Bearbeitet von *Alb. Matzdorff*. Breslau, E. Trewendt. In-8°, 160 p. 5f,65. (139)

Landauer (J.). — Die Spectralanalyse. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, VIII-174 p. avec 44 fig. et 1 pl. 5 fr. (520)

MEWES (R.). — Licht, Elektricitäts-und X-Strahlen. Ein Beitrag zur Erklärung der Röntgen'schen Strahlen. Berlin, Fischer. In-8°, 52 p. avec fig. 1ᶠ,90. (1295)

NEUMANN (C.). — Allgemeine Untersuchungen über das Newton'sche Princip der Fernwirkungen mit besonderer Rücksicht auf die elektrischen Wirkungen. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, XXI-292 p. 12ᶠ,50. (525)

RIECKE (E.). — Lehrbuch der Experimental-Physik zu eigenem Studium und zum Gebrauche bei Vorlesungen. I. Bd. Mechanik. Akustik Optik. Leipzig, Veit und Co. In-8°, XVI-418 p. avec 368 fig. (Paraîtra en 2 volumes.) 10 fr. (897)

RÖNTGEN (W.-C.). — Ueber eine neue Art von Strahlen. (Vorläufige Mittheilung.) (Ext. des *Sitzungsber. d. Würzburger phys. medicin. Gesellschaft.*) Würzbourg, Stahel. In-8°, 10 p. 0ᶠ,65. (531)

ROSENBERGER (F.). — Isaac Newton und seine physikalischen Principien. Ein Hauptstück aus der Entwickelungsgeschichte der modernen Physik. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, VI-536 p. avec 25 fig. 16ᶠ,90. (156)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

BAUER (M.). — Edelsteinkunde. Eine allgemein verständliche Darstellung der Eigenschaften, des Vorkommens und der Verwendung der Edelsteine. 2.-5. Lfg. Leipzig, C.-H. Tauchnitz. In-8°, p. 49-240, avec planches et fig. dans le texte. Chaque livraison 3ᶠ,15. (121)

—— —— 6. u. 7. Lfg. Leipzig, C.-H. Tauchnitz. In-8°, p. 241-384. Chaque livraison 3ᶠ,15. (1262)

DUNKER (E.). — Ueber die Wärme im Innern der Erde und ihre möglichst fehlerfreie Ermittelung. Herausgegeben von *R. Brauns*. Stuttgart, E. Schweizerbart. In-8°, x-242 p. avec 2 planches. 6ᶠ,25. (1276)

v. ETTINGSHAUSEN (C.). — Ueber die Nervation der Blätter bei der Gattung *Quercus* mit besonderer Berücksichtigung ihrer vorweltlichen Arten. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenschaften.*) Vienne, C. Gerold's Sohn. In-4°, 64 p. avec 3 fig. et 12 planches autotyp. 8ᶠ,40. (130)

FRITSCH (A.). — Fauna der Gaskohle und der Kalksteine der Permformation Böhmens. III. Bd. 4. Heft. Palæoniscidæ. II. Prague, F. Rivnác. In-fol., IV p. et p. 105-132, avec 14 fig. et 10 planches color. (Fin.) 40 fr. (513)

GRUNER (H.). — Grundriss der Gesteins-und Bodenkunde zum Gebrauch an landwirtschaftlichen und technischen Hochschulen. Berlin, P. Parey. In-8°, x-436 p. avec 21 planches. 15 fr. (880)

v. HAUER (F.). — Beiträge zur Kenntniss der Cephalopoden aus der Trias von Bosnien. II. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenschaften.*) Vienne, C. Gerold's Sohn. In-4°, 40 p. avec 13 planches. 8ᶠ,25. (1643)

v. KOENEN (A.). — Ueber einige Fischreste des norddeutschen und böhmischen Devons. (Extr. des *Abhandl. d. k. Gesellsch. der Wissenschaften zu Göttingen.*) Göttingue, Dieterich's Verl. In-4°, 37 p. avec 5 planches. 7ᶠ,50. (885)

LINCK (G.). — Grundriss der Krystallographie für Studirende und zum Selbstunterricht. Iéna, G. Fischer. In-8°, VI-255 p. avec 482 fig. dans le texte et 2 planches color. 10 fr. (890)

MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. 417. u. 418. Lfg. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°. Chaque livraison 11ᶠ,25. (151)

—— —— 419. u. 420. Lfg. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°. Chaque livraison 11ᶠ,25. (1294)

—— —— Sect. 138. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°. 33ᶠ,75. (152)

OPPENHEIM (P.). — Beiträge zur Binnenfauna der provençalischen Kreide. (Extr. des *Palæontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-8°, 70 p. avec 4 planches. 20 fr. (528)

WRANY (A.). — Die Pflege der Mineralogie in Böhmen. 2. Hälfte. I. Thl. Prague, H. Dominicus. In-8°, p. 161-320. 4ᶠ,50. (536)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

AGTHE (A.). — Der Elevator des Rigaschen Hafens. Riga, N. Kymmel's Sort. In-8°, 48 p. avec 7 planches. 8ᶠ,75. (725)

KECK (W.). — Vorträge über Mechanik als Grundlage für das Bau und Maschinenwesen. I. Thl. : Mechanik starrer Körper. Hanovre, Helwing. In-8°, VII-317 p. avec 389 fig. 12ᶠ,50. (1500)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Dürre (E.-F.). — Ziele und Grenzen der Elektrometallurgie. Eine vergleichende Betrachtung der heutigen Hüttenprocesse und der bis jetzt geschehenen und überhaupt möglichen Anwendungen der Elektricität bei der praktischen Metallgewinnung. Leipzig, O. Leiner. In-8°, XII-224 p. avec 44 fig. et 21 planches color. 25 fr. (733)

Handbuch der chemischen Technologie. Bearbeitet und herausgegeben von *P.-A. Bolley* und *K. Birnbaum*, fortgesetzt von *C. Engler*. I. Bd. 3. Gruppe. 3. Lfg. (56. Lfg.). Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, p. 407-592, avec fig. 6f,25. (1498)

Holzt (A.). — Die Schule des Elektrotechnikers. Lehrhefte für die angewandte Elecktricitätslehre. Herausgegeben im Verein mit *H. Wieweger* und *H. Stapelfeldt*. I. Bd. Leipzig, M. Schäfer. In-8°, VIII-424 p. avec fig. et 3 planches. 10f,35. (1111)

—— —— 12. u. 13. Heft. Leipzig, M. Schäfer. In-8°. Chaque fascicule 0f,95. (1499)

Kalmann (W.). — Kurze Anleitung zur chemischen Untersuchung von Rohstoffen und Produkten der landwirtschaftlichen Gewerbe und der Fettindustrie. Vienne, F. Deuticke. In-8°, X-133 p. avec 3 fig. 3f,75. (1648)

Krämer (J.). — Die einfachen und mehrphasigen elektrishen Wechselströme, beziehungsweise : Der Drehstrom, seine Erzeugung und Anwendung in der Praxis. Gemeinfasslich dargestellt. Mit ca. 300 Abbildungen im Text und 9 Tafeln. 1. Lfg. Iéna, H. Costenoble. In-8°, VI p. et p. 1-80. (Paraîtra en 5 livraisons.) 3f,75. (737)

—— —— 2.-5. Lfg. Iéna, H. Costenoble. In-8°, p. 81-392. Chaque livraison 3f,75. (1501)

Medicus (L.). — Kurzes Lehrbuch der chemischen Technologie. Zum Gebrauche bei Vorlesungen auf Hochschulen und zum Selbststudium für Chemiker. 2. u. 3. Lfg. Tübingue, H. Laupp. In-8°, p. 257-688, avec fig. 11f,25. (1116)

Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge. Herausgegeben von *F.-B. Ahrens*. I. Bd. 1. Heft. Die Metallcarbide und ihre Verwendung. Von *F.-B. Ahrens*. Stuttgart, F. Enke. In-8°, 46 p. avec fig. 1f,25. (899)

Tauber (E.) und R. Norman. — Die Derivate des Naphtalins, welche

für die Technik Interesse besitzen. Uebersichtlich zusammengestellt. Berlin, R. Gaertner. In-8°, VII-219 p. avec fig. 22f,50. (1664)

6° *Objets divers.*

Beck (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. III. Abtlg. Das 18. Jahrhundert. 2. Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, p. 177-352. 6f,25. (1491)

OUVRAGES RUSSES.

Murawsky (A.). — Sur quelques exploitations minières et mines de houille de l'Amérique du Nord (en russe). Saint-Pétersbourg. In-8°, 52 p. 7f,50.

OUVRAGES ESPAGNOLS.

Oriol (R.). — Anuario de la mineria, metalurgia y electricidad de España. Año III, 1896. Madrid, E. Teodoro. In-8°, 375 p.

Suderra Maso (P.-M.). — La seismologia en Filipinas. Manille. In-fol., IV-125 p. avec 8 planches et 41 cartes. 40 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Accardi (D.). — Una questione geometrica applicata alla cubatura delle volte : Parte I-II. Palerme, tip. del Giornale di Sicilia. In-8°, 14 p. (4221)

Biasi (G.). — I poligoni equivalenti e lettere E. F. Sassari, tip. G. Dessi. In-8°, 4 p. (2428)

Duse (A.-L.). — Quadratura del circolo : formola geometrica con applicazione. Naples, tip. De Angelis-Bellisario. In-8°, 9 p. avec planche. (4180)

Gambardella (F.). — Elementi di calcolo infinitesimale. Seconda edizione. Livourne, R. Giusti. In-8°, viij-517 p. avec fig. 9 fr. (684)

Gremigni (M.). — Aggiunte e note alla Teoria dei poligoni equivalenti. Florence, R. Bemporad e figlio. In-8°, 8 p. (685)

—— Sull'equivalenza dei poligoni piani e sferici : dimostrazione di un'assioma d'Euclide. Florence, R. Bemporad e figlio. In-8°, 19 p. avec fig. (686)

Maggi (G.-A.). — Principî della teoria matematica del movimento dei corpi : corso di meccanica razionale. Milan, U. Hoepli. In-8°, xviij-503 p. 12 fr. (280)

Mortara (E.). — Osservazione sul principio delle aree. Parme, L. Battei. In-16°, 7 p. (2877)

Pascal (E.). — Teoria delle funzioni ellittiche. Milan, U. Hoepli. In-16°, xij-227 p. (282)

Pincherle (S.). — Sopra alcune equazioni simboliche : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 15 p. (Extr. des *Mem. della r. accad. della scienze dell' istit. di Bologna.*) (283)

Romano (S.). — Sulla convergenza delle serie e metodi per determinarne la somma. Noto, tip. F. Zammit. In-8°, 38 p. (2434)

Ruffini (F.-P.). — Delle accelerazioni che, nel moto di un sistema rigido con un punto fisso, sono dirette ad uno stesso punto qualsivoglia dato : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 11 p. (Extr. du *Rendiconto delle sessioni d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bolgna.*) (1082)

2° *Physique et Chimie.*

Antony (U.) e Benelli (T.). — Esperienze relative alle acque potabili che hanno percoso tubi di piombo : nota preliminare. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 14 p. (3748)

—— Ricerca delle piccole quantità di piombo nelle acque : nota. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 5 p. (4176)

Antony (U.) e Gigli (G.). — Sulla decomposizione idrolitica del nitrato e del solfato ferrico : nota. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 21 p. (3749)

Antony (U.) e Lucchesi (A.). — Condizioni di precipitazione del solfuro platinico, solfuro platinico colloidale : nota. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 9 p. (4175)

Batelli (A.) e Garbassi (A.). — Sopra i raggi del Röntgen : ricerche sperimentali. Pise, tip. Pieraccini. In-8°, 24 p. avec fig. (Extr. du *Nuovo Cimento.*) (2427)

Carbonelli (E.-C.). — Del valore di γ relativo all'Argon. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 6 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (3290)

Castellaneta (E.). — Azione degli acidi ossalico e malonico sopra il p-amidofenol ed i suoi eteri. Florence, tip. Minori corrigendi. In-8°, 16 p. (Extr. de l'*Orosi.*) (3291)

Folgheraiter (G). — Intensità orizzontale del magnetismo terrestre lungo il parallelo di Roma : nota. Rome, tip. da Adelaide ved. Pateras. In-8°, 9 p. (1923)

Garibaldi (P.-M.). — Ancora delle correlazioni fra il maximum declinometrico di aprile e l'attività solare. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 7 p. (Ext. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (1517)

Giazzi (F.). — Sui raggi Röntgen : nota. Pérouse, Unione tip. cooperativa. In-8°, 2 p. (3297)

—— Sui raggi Röntgen ; splancnoscopio : nota. Perouse, Unione, tip. cooperativa. In-8°, 3 p. (3298)

Pacher (G.). — Sui raggi di Röntgen : produzione, proprietà, natura, applicazione pratica per ottenere le ombre. Turin, Rosenberg e Sellier. In-8°, 28 p. avec planche. 0f,60. (2878)

Palazzo (L.). — Misure assolute degli elementi del magnetismo terrestre, eseguite in Italia negli anni 1888 e 1889. Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-4°, 151 p. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale meteorologico e geodinamico.*) (1522)

Peratoner (A.) e Oddo (G.). — Sulla decomposizione di alcuni triazoturi. Palerme, tip. Lo Statuto. In-8°, 9 p. (689)

Piccini (A.). — I perossidi in relazione al sistema periodico degli elementi. Florence, tip. Minori corrigendi. In-8°, 12 p. (Extr. de l'*Orosi*.) (3303)

Raccuglia (G.-D.). — Sulla curva limite dei raggi rifratti da un angolo rifrangente. Palerme, tip. del Giornale di Sicilia. In-8°, 16 p. avec fig. (Extr. du *Giornale scientifico di Palermo*.) (691)

Righi (A.). — Sulla produzione di fenomeni elettrici per mezzo dei raggi di Röntgen. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 8 p. (1932)

—— Sull' influenza della pressione e natura del gas ambiente nella disperzione elettrica prodotta dai raggi di Röntgen : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 12 p. avec fig. (Extr. des *Memorie d. r. accad. delle scienze dell' istit. di Bologna*.) (3760)

Salvioni (E.). — Studî sui raggi di Röntgen : comunicazione fatta alla accademia nella adunanza del giorno 6 febbrajo 1896. Pérouse, Unione tip. cooperativa. In-8°, 6 p. (Extr. des *Atti dell' accad. medico-chirurgica di Perugia*.) (1523)

—— Una condizione necessaria per ottenere ombre nitide coi raggi di Röntgen e un fenomeno che offre modo di realizzarla : nota. Pérouse, Unione tipografico-cooperativa. In-8°, 4 p. (Extr. du même recueil). (1933)

Sandrucci (A.). — Le teorie su l'efflusso dei gas e gli esperimenti di G. A. Hirn. Florence, tip. Minori corrigendi. In-8°, 60 p. (284)

Teyxeira (G.). — Alcune notizie sull' acetilene. Pérouse, tip. G. Guerra. In-8°, 8 p. (3464)

Tolomei (G.) e Vessichelli (G.). — Elettricità e magnetismo : trattato teorico-pratico. Vol. II. Florence, succ. Le Monnier. In-8°, xiij-425 p. avec fig. 6 fr. (693)

Venturini (G.) e G. Pacher. — Esperienze coi raggi di Rœntgen : studio. Venise, tip. C. Ferrari. In-4°, 18 p. avec 2 planches. (Extr. des *Memorie d. r. istit. veneto di scienze, lettere ed arti*.) (2855)

Vitali (G.). — Nuovo contributo allo studio delle trasformazioni dell' anidride arseniosa nell' organismo : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 12 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. delle scienze dell' istit. di Bologna*.) (1086)

—— Nuovo metodo di ricerca chimico-tossicologica del cianuro di mercurio : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 9 p. (Extr. du même recueil). (1087)

Vitali (G.) — La chimica farmaceutica e tossicologica dei corpi minerali. T. I, parte 1. Bologne. In-8°, 614 p. 12f,50.

3° *Mineralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Abetti (A.). — Il primo istante della gran scossa di terremoto del 18 maggio 1895, notato in Arcetri (Firenze). Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-8°, 5 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. sismologica italiana*.) (4173)

Achiardi (G. d'). — Le tormaline del granito elbano. Parte II. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 73 p. avec planche. (Extr. des *Atti d. soc. toscana di scienze naturali*.) (3285)

Agamennone (G.). — Tremblement de terre de Paramythia (Epire) de la nuit du 13-14 mai 1895. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-8°, 10 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. sismologica italiana*.) (4174)

Amicis (G.-A. de). — I foraminiferi del Pliocene inferiore di Bonfornello presso Termini-Imerese in Sicilia. Palerme, tip. Virzi. In-8°, 63 p. avec planche. (Extr. du *Naturalista siciliano*.) (679)

Arcidiacono (S.). — Sul terremoto del 13 aprile 1895, avvenuto in provincia di Siracusa : nota. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 7 p. avec fig. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale meteorologico e geodinamico*.) (1510)

—— Rassegna dei principali fenomeni eruttivi avvenuti in Sicilia e nelle isole adiacenti durante il quadrimestre maggio-agosto 1895. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-8°, 4 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. sismologica italiana*.) (4177)

Baratta (M.). — Sulla attività sismica nella Capitanata : memoria. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 46 p. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica*.) (1512)

—— Sul centro sismico fiorentino. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-8°, 5 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. sismologica italiana*.) (3286)

Baratta (M.). — Ricerche storiche sugli apparecchi sismici. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 37 p. avec fig. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica*.) (4178)

Bellardi (L.). — I molluschi dei terreni terziarî del Piemonte e della Liguria, Parte XVIII (Melanidae, Littorinidae, Fossaridae,

Rissoidae, Hydrobiidae, Paludinidae e Valvatidae) a cura del dott. *F. Sacco*. Turin, C. Clausen. In-4°, 52 p. avec planche. (273)

—— —— Parte XIX (Turritellidae e Mathildidae), a cura del dott. *F. Sacco*, Turin, C. Clausen. In-4°, 46 p. avec 3 planches. (3750)

Bombicci (L.). — Ancora dell' indirizzo della mineralogia : [lettera all' ing. Viola]. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 2 p. (275)

—— Considerazioni critiche sull' attuale indirizzo dell' insegnamento universitario di mineralogia e su di alcune modificazioni che vennero recentemente proposte : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 15 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. delle scienze dell' istit. di Bologna.*) (276)

—— Risposte al questionario per la nomenclatura litologica, diramato a nome della società geologica italiana, dopo l'adunanza sociale del 20 settembre 1893 : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 19 p. (Extr. du même recueil). (1917)

—— Sui ciottoli improntati in ordine alla loro distribuzione lungo le grandi linee di Faglia del territorio bolognese : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 12 p. avec 2 planches. (Extr. du même recueil.) (1918)

—— Sulle intrusioni ascendenti di materiali argilloidi nelle fratture regionali dell' Appennino emiliano; riassunto dei fatti vecchi e nuovi : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 8 p. avec planche. (Extr. du même recueil) (1919)

—— Le brecciole poligeniche dell'Appennino bolognese ; correlazioni fra le loro varietà calcareo-selcioso-ofiolitiche e i materiali d'inclusione nelle argille scagliose : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 16 p. avec planche. (Extr. du même recueil.) (3751)

—— Sulla contemporaneità di origine e di adattamento di sostanze diverse che cristallizzano nello stesso spazio poliedrico per coesistere nello stesso cristallo ; sulla durata indefinita del lavoro molecolare cristallogenico perfezionante nelle sostanze cristalline e nelle rocce in posto : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In 4°, 28 p. avec 2 planches. (Extr. du même recueil.) (4179)

Coggi (A.). — Note sull' evoluzione dei crostacei. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, avec planche. (Extr. de la *Rivista italiana di palcontologia.*) (3754)

Dolby-Tyler (C.-H.) ed E.-H. Giglioli. — Gli ultimi giorni dell' età della pietra (America meridionale); di alcuni strumenti litici tuttora in uso presso certe tribù del rio Napo : nota. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 14 p. avec fig. (Extr. de l'*Archivio per l' antropologia e l' etnologia.*) (682)

Fornasini (C.). — Di alcune forme plioceniche della *Bigenerina robusta :* contributo alla conoscenza della microfauna terziaria italiana. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 7 p. avec planche. (Extr. des *Memorie d. r. accad. delle scienze dell' istit. di Bologna.*) (279)

—— Contributo alla conoscenza della microfauna terziaria italiana; di alcune forme plioceniche della *Testilaria candeiana* e della *T. concava;* nota. Bologne, tip. Camberini e Parmeggiani. In-4°, 8 p. avec planche. (Extr. du même recueil.) (1924)

Giovannozzi (G.). — Il microsismografo Cecchi. Rome, tip dell' Unione cooperativa editrice. In-8°, 3 p. avec fig. (Extr. du *Bollett. d. soc. sismologica italiana.*) (3299)

Isssel (A.) — Dell' età attribuite da Domenico Viviani alle Serpentine ligustiche. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (1079)

—— Compendio di geologia, col concorso dell'ing. S. *Traverso*. Parte I. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, 428 p. avec fig. et planche. 6 francs. (1925)

—— Cenno di parossismo eruttivo osservato nelle sorgenti bituminifere di Zante. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 11 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze natvrali e geografiche.*) (3300)

Landi (U.). — Sistema di sospensione per i pendoli tromometrici e sismografici. Florence, tip. E. Landi. In-8°, 7 p. (2876)

Meli (R.). — Molluschi fossili estratti recentemente dal giacimento classico del Monte Mario presso Roma : nota. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 10 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. geol. italiana.*) (1518)

—— Notizie su'resti di mammiferi fossili rinvenuti recentemente in località italiane : nota. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 19 p. (Extr. du même recueil.) (1519)

—— Sopra alcune roccie e minerali raccolti nel viterbese : nota. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 9 p. (Extr. du même recueil.) (1520)

—— Ancora due parole sull'età geologica delle sabbie classiche del Monte Mario presso Roma : nota. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 16 p. (Extr. du même recueil.) (1928)

—— Ancora sugli esemplari di *Neptunea sinistrorsa* Desh. (*Fusus*),

pescati sulla costa d'Algeri. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 6 p. avec planche. (Extr. du même recueil.) (1992)

Negri (G.-B.). — Sopra le forme cristalline dell' Aragonite di monte Ramazzo (Liguria). Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 23 p. avce fig. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (1080)

Paleontographia italica : memorie di paleontologia, pubblicate per cura del prof. *Mario Canavari*. Volume I (1895). Pise, tip. T. Nistri e C. In-4°, 275 p. avec 18 planches. (2879)

Prato (A. del). — Asteroidi terziarî del parmense e del reggiano : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 8 p. avec fig. et planche. (Extr. de la *Rivista italiana di paleontologia.*) (1930)

Ristori (G.). — Chelomani fossili di Montebamboli e Casteani. Florence. In-8°. 7f,50.

Sacco (F.). — L'anfiteatro morenico del lago di Garda : studio geologico. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8°, 54 p. avec planche. (Extr. des *Annali d. r. accad. d'agricoltura di Torino.*) (3761)

Schneer (J. und von Stein-Nordheim. — Der Vesuv und seine Geschichte von 79 n. Chr. bis 1894. Naples. In-8°, 69 p. avec fig. 1f,50. (285)

Taverso (S.). — Su alcune rocce di Fontanaccio e di Flumentorgiu in Sardegna. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 22 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (1085)

—— Le rocce della valle di Trebbia, con appendice su alcuni graniti recenti. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 23 p. (Extr. du même recueil.) (3310)

Vinassa de Regny (P.-E.). — Prospetto della fauna del Monte Postale e di S. Giovanni Ilarione. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 8 p. (Extr. des *Proc.-verb. d. soc. toscana di scienze naturali.*) (2439)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Allievi (L.). — Cinematica della biella piana : studio differenziale di cinematica dal piano, con applicazioni alla costruzione razionale delle guide dal movimento circolare e rettilineo. Naples, tip. F. Giannini efigli. In-8°, 151 p., 30 pl. (1914)

Martorelli (G.). — Le macchine a vapore marine : libro di testo per la r. scuola allievi macchinisti, ad uso della r. accademia navale e delle scuole nautiche del regno. Seconda edizione con

note ed aggiunte. Turin, Roux Frassati e C. In-8°, xxxvj- 863 p. avec fig. 20 fr. (346)

Vottero (G.). — Manuale del fuochista e macchinista, ad uso delle scuole tecniche operaie di s. Carlo e di tutte quelle autorizzate a rilasciare i certificati di capacità alle funzioni di conduttore di caldaie a vapore. Terza edizione. Turin, Roux, Frassati e C. In-16, 168 p. avec 16 planches, 2 fr. (2056)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Ferraris (G.) et Arnò (R.). — Nouveau système de distribution électrique de l'énergie moyennant des courants alternatifs. Turin, C. Clausen. In-8°, 31 p. avec fig. (3755)

Ferrini (R.). — Elettricità e magnetismo : nozioni fondamentali dell'elettrotecnica, illustrate da una compendiosa esposizione delle principali applicazioni nell'attuale loro sviluppo. Secunda edizione interamente rifatta. Milan, U. Hoepli. In-8°, xj-534 p. avec fig. 12 fr. (278)

Messina (A.). — I misuratori di energia elettrica ed il loro controllo nel l'illuminazione. Palerme. In-8°, 130 p. 6f,25.

Raddi (A.). — L'illuminazione pubblica di Firenze ; il becco Auer e la carburazione del gas-luce con l'acetilene : studî comparativi e prosposte. Florence, E. Sevieri. In-8°, 16 p. (Extr. du *Commercio toscano.*) (765)

Rota (G.). — Nuovo metodo d'analisi qualitativa delle materie coloranti organiche (naturali ed artificiali). Parte I : analisi dei colori semplici (isolati). Rome, tip. dell Mantellate. In-8°, 17 p. avec fig. et planche. (Extr. de la *Rivista d'igiene et sanità pubblica.*) (4183).

Tenner (A.). — La produzione del Calciumcarbid e l'Acetylen. Livourne, tip. O. Sardi. In-8°, 30 p. 1f,50. (4325)

Zecchini (M.). — Sul comportamento delle scorie o di altri fosfati con differenti soluzioni citriche : nota. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8°, 20 p. (Extr. des *Annali d. r. accad. d'agricoltura di Torino.*) (3468)

6° *Construction. — Chemins de fer.*

Bassani (C.). — Tubo flettostensore ovvero compensatore flessibile per tubolature metalliche : memoria. Rome, tip. F. Cuggiani.

In-4°, 76 p. avec 2 planches. (Extr. des *Memorie d. pontif. accad. dei nuovi Lincei.*) (2489)

Cattori. — La traction électrique sur les chemins de fer actuellement en exploitation. Rome, impr. dell' Unione cooperativa editrice. In-8°, 34 p. avec fig. et planche. (4225)

Colombo (G.). — Il traforo del Sempione. Domodossola, tip. Porta. In-8°, 21 p. (4226)

Convention et cahier de charges pour la construction et l'exploitation d'un chemin de fer à travers le Simplon dès la frontière italo-suisse à Iselle: texte original italien et texte français. Rome, impr. Nationale de J. Bertero. In-4°, 15 p. (3376)

Costruttore (Il): trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell'ingegnere civile ed industriale, dell' architetto, dell' agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4.000 incisioni. Milan, F. Vallardi. In-4°, avec fig. Disp. 143-144, p. 369-416, avec planche; disp. 145-146, p. 417-480, avec planche; p. 481-544. (340-2937-3815)

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie: norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 115-116. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4°, avec fig., p. 241-272, p. 9-36, avec 12 planches. 2 fr. la livraison. (1568)

Ottone (G.). — Sulla determinazione del valore e sulla scelta dei lubrificanti nelle ferrovie. Palerme, tip. del Giornale di Sicilia. In-8°, 72 p. (Extr. du *Giornale scientifico di Palermo.*) (1569)

Viola (F.). — La trazione elettrica e i suoi diversi sistemi (a proposito del progetto dell'ing. Ferrando). Palerme, tip. F. Barravecchia e figlio. In-8°, 16 p. (1570)

7° *Objets divers.*

Boccardo (E.-C.) — Trattato elementare completo di geometria pratica. Disp. 40-42. Parte II (Topografia). Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 73-104, avec 4 planches; p. 105-136, avec planches; p. 137-160, avec 5 planches. 1f,60 la livraison. (274-1513-1916)

Botteri (O.). — Le scorie Thomas ed i superfosfati. Turin, tip. G. Derossi. In-8°, 8 p. (2522)

Caverni (R.). — Storia del metodo sperimentale in Italia. Tomo IV. Florence, G. Civelli. In-8°, 617 p. avec fig. 10 fr. (3753)

Columba (G.-M.) — Eratostene e la misura del meridiano terrestre. Palerme, C. Clausen. In-8°, 72 p. (1515)

Crugnola (G.). — Dizionario tecnico di ingegneria e di architettura nelle lingue italiana, francese, inglese e tedesca, compresovi le scienze, arti e mestieri affini. Parte I, disp. 63-64. Turin, A.-F. Negro. In-8°, p. 33-80; p. 81-128. (717-3377)

Garibaldi (P.-M.) e Razeto (M.). — La pressione atmosferica a Genova nel sessantennio 1833-'92. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 40 p. avec planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (3296)

Gibelli (G). — La terra. Parte II: (Sulla terra agisce una pressione superiore all' atmosfera). Milan, tip. d. soc. edit. Sonzogno. In-16, 16 p. 0f,75. (2430)

Giovannozzi (G.). — Rivista di meteorologia e fisica del globo per l'anno 1895. Milan, fr. Treves. In-16, 22 p. (Extr. de l'*Annuario scientifico ed industriale.*) (2872)

Loperfido (A.). — Sopra gli errori delle poligonazioni: nota Florence, tip. G. Carnesecchi e figli. In-8°, 14 p. avec fig. (Extr. des *Atti del collegio degli architetti ed ingegneri in Firenze.*) (718)

Pagliani (S.). — Un nuovo metodo grafico di segnalazioni nella determinazione delle longitudini. Palerme, tip. del Giornale di Sicilia. In-8°, 23 p. (Extr. du *Giornale scientifico di Palermo.*) (1521)

Pompei (M.). — La materia e la teoria dell'evoluzione: contributo di filosofia scientifica. Pesaro, tip. Federici. In-8°, 65 p. avec fig. (3304)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME NEUVIÈME.

EXPLOITATION DES MINES. — GITES MINÉRAUX.

Pages.

Les mines d'or du Transvaal : Districts du Witwatersrand, d'Heidelberg et de Klerksdorp; par M. *L. De Launay* . . . 5

Note sur un auto-capteur ou appareil servant à effectuer automatiquement, de façon continue, des prises d'air grisouteux ou de gaz quelconques ; par M. *P. Petit* . . . 289

Les Mines d'or de l'Australie (province de Victoria) et le gîte d'argent de Broken Hill (Nouvelle-Galles du Sud), par M. *L. Babu*. 315

Commission du grisou. — Le formènophone de M. E. Hardy.
I. — Rapport présenté à la Commission par M. *Termier*. 577
II. — Avis de la Commission du grisou. 603
III. — Note additionnelle 605

Note sur la Grande couche de Villars et la faille de la République du bassin houiller de Saint-Étienne ; par M. *Coste*. 608

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1894 par les ngénieurs des mines dans les laboratoires départementaux. 553

MÉCANIQUE. — MACHINES.

Note sur un accident d'appareil à vapeur, causé par l'entartrement rapide d'un tuyau d'alimentation ; par M. *C. Walckenaer* 284

Pages.

Les trappes d'expansion de vapeur des fourneaux de chaudières ; par M. *C. Walckenaer*. 521

Recherches expérimentales sur l'échauffement de l'air parcourant un tuyau maintenu extérieurement à une température déterminée. Application à l'étude de la possibilité de la transformation de la locomotive en machine à condensation ; par M. *Carcanagues*. 529

CHEMINS DE FER.

Théorie de la stabilité des locomotives ; par M. *J. Nadal* . . 413

LÉGISLATION. — ÉCONOMIE SOCIALE.

Étude administrative sur les mines de Rancié ; par M. *Villot*. 205

OBJETS DIVERS.

Notice nécrologique sur Émile Bayle, Ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École nationale des Mines ; par M. *H. Douvillé*. 269

Statistique de l'Industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1894 et en 1895. 305

Discours prononcés aux funérailles de M. Massieu, Inspecteur général des Mines, le 8 février 1896 :
Discours de M. *Orsel*. 396
Discours de M. *Sirodot*. 397
Discours de M. *Nivoit*.. 400

Conclusions de la première section de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction. 468

Discours prononcés aux funérailles de M. Daubrée, membre de l'Institut, inspecteur général des mines en retraite,

Pages.

directeur honoraire de l'École supérieure des mines, le 1er juin 1896 :

Discours de M. *Fouqué* 622
Discours de M. *Linder* 626
Discours de M. *Haton de la Goupillière* 629
Discours de M. *Stanislas Meunier* 631
Discours de M. *Louis Passy* 633
Discours de M. *Hautefeuille* 635
Discours de M. *G. F. Dollfus* 637

BULLETIN.

Production minérale de l'Australasie en 1893. 202
Production minérale des colonies anglaises de l'Afrique en 1893. 203
Statistique de l'industrie minérale de la Bavière en 1894. 204
Résumé statistique de l'industrie minérale de la France pendant les années 1870 à 1894, par M. *Sol*. 298
— (*Suite*) 402
— (*Suite*) 516
— (*Suite et fin*) 573
Statistique de l'industrie minérale de la Suède pour l'année 1894. 301
L'industrie minière en Serbie, Bosnie, Herzégovine, par M. *L. De Launay* 641

Législation étrangère.

Roumanie. Règlements du 29 avril 1895 pour l'exploitation, dans les propriétés de l'État : 1° des carrières et 2° du pétrole, de l'ozokérite et autres substances bitumineuses. 408

BIBLIOGRAPHIE.

Premier semestre de 1896.

Ouvrages français. 650
Ouvrages anglais 664
Ouvrages américains. 671
Ouvrages allemands. 672
Ouvrages russes. 677
Ouvrages espagnols 677
Ouvrages italiens 678

ERRATA

AU TOME NEUVIÈME.

Page 106. — La coupe verticale de la fig. 10 doit être retournée de 90° en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, de telle façon que le Main Reef et les schistes plongent à gauche.

Pl II, fig. 2. — *Au lieu de* : Échelle $\frac{1}{480.000}$, *lire :* Échelle $\frac{1}{960.000}$ et supprimer l'échelle figurée de 0 à 10 k.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME NEUVIÈME.

Pl. I à VI. — Mines d'or du Transvaal.

Pl. VII. — Auto-capteur, servant à effectuer automatiquement, de façon continue, des prises d'air grisouteux.

Pl. VIII à XI. — Mines d'or de l'Australie (province de Victoria) et gite d'argent de Broken Hill (Nouvelle-Galles du Sud).

Pl. XII. — Théorie de la stabilité des locomotives.

Pl. XIII et XIV. — Trappes d'expansion de vapeur des fourneaux de chaudières.

Pl. XV. — Recherches expérimentales sur l'échauffement de l'air parcourant un tuyau maintenu extérieurement à une température déterminée.

Pl. XVI et XVII. — La Grande Couche de Villars et la faille de la République du bassin houiller de Saint-Étienne.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

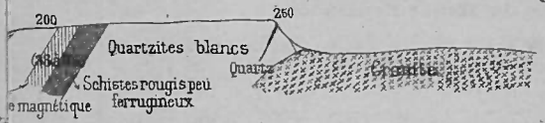
géolo ferme de Doornfontein

L. de ngueurs $\frac{1}{28.000}$

800m au-dessus de la mer

Nord

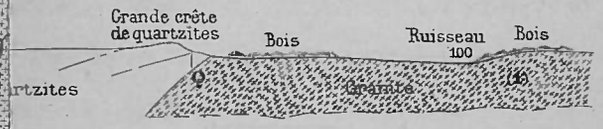
U



(dans le prolongement de Harrisson-Street)

les longueurs $\frac{1}{28\,000}$

Y



s (de 1 à 32 pour l'une des coupes, de 33 à 50 pour l'autre) collection 1.450 déposée à l'École des Mines. — Les autres cotes d'altitude.

Légende

Granite · Granulite · Dykes et roches éruptives

ilons de quartz · Grès et quartzites avec conglomérats Série aurifère · Schistes

Grès et schistes ferrugineux · Concessions exploitées

concessions Robinson et Crown deep indiquent en mètres laquelle se trouve le South reef au point correspondant.

Echelle

500m 0 1K 2K

nthèses correspondent aux échantillons de la collection 1450 déposée à l'École des Mines

17672.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. — Esquisse géologique de la région de Johannesburg
dressée par L. de Launay en Août-Septembre 1895

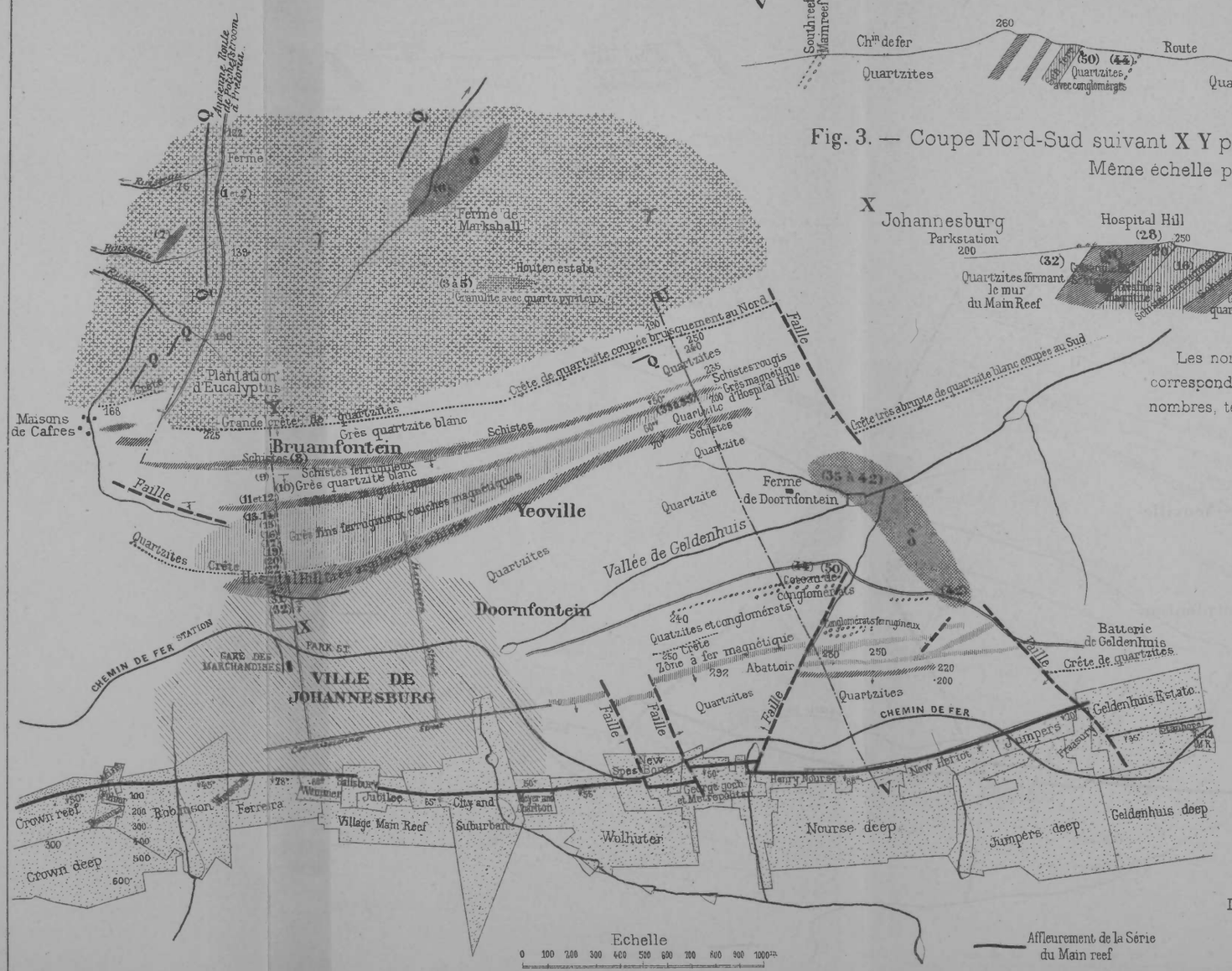


Fig. 2. — Coupe Nord-Sud suivant **U V** par la ferme de Doornfontein
Même échelle pour les hauteurs et les longueurs $\frac{1}{28.000}$
Le zéro, pour les cotes d'altitude, correspond à environ 1.800m au-dessus de la mer

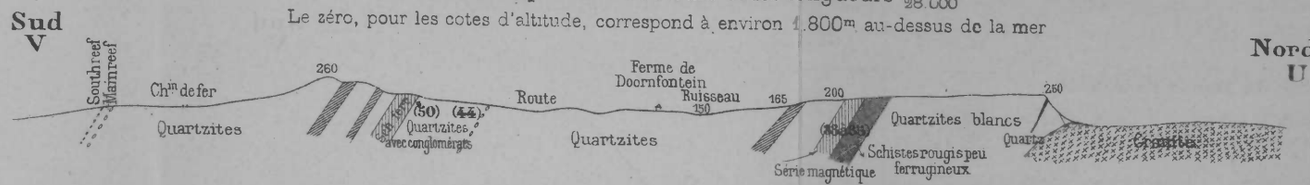
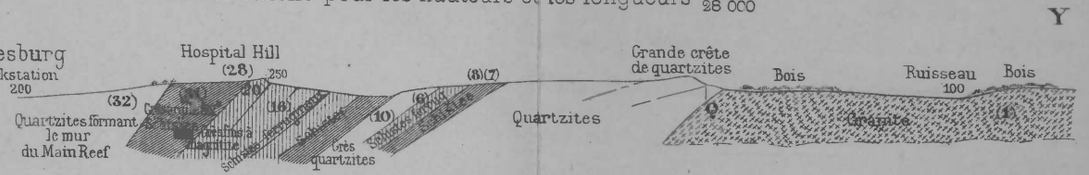


Fig. 3. — Coupe Nord-Sud suivant **X Y** par Johannesburg (dans le prolongement de Harrisson-Street)
Même échelle pour les hauteurs et les longueurs $\frac{1}{28\,000}$



Les nombres entre parenthèses (de 1 à 32 pour l'une des coupes, de 33 à 50 pour l'autre) correspond aux échantillons de la collection 1.450 déposée à l'École des Mines. — Les autres nombres, tels que 250, sont des cotes d'altitude.

Légende

Granite — Granulite — Dykes et roches éruptives

Filons de quartz — Grès et quartzites avec conglomérats Série aurifère — Schistes

Grès et schistes ferrugineux — Concessions exploitées

Les chiffres sur les concessions Robinson et Crown deep indiquent en mètres la profondeur à laquelle se trouve le South reef au point correspondant.

Echelle
1000m 500m 0 1K 2K

Les nombres entre parenthèses correspondent aux échantillons de la collection 1450 déposée à l'École des Mines

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. — Coupe géologique N. S. de Orange Grove à 5 Kil. au Nord de Johannesburg jusqu'à la rivière Vaal
(en partie d'après la Coupe de Mr Draper)

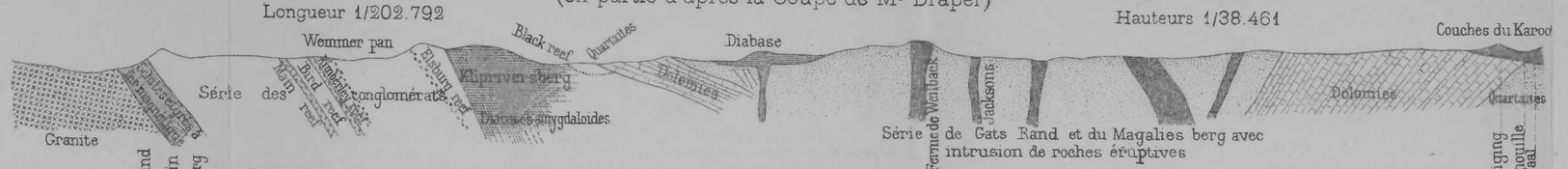


Fig. 2. — Carte géologique des régions aurifères du Witwaters rand, de Heidelberg et de Klerksdorp

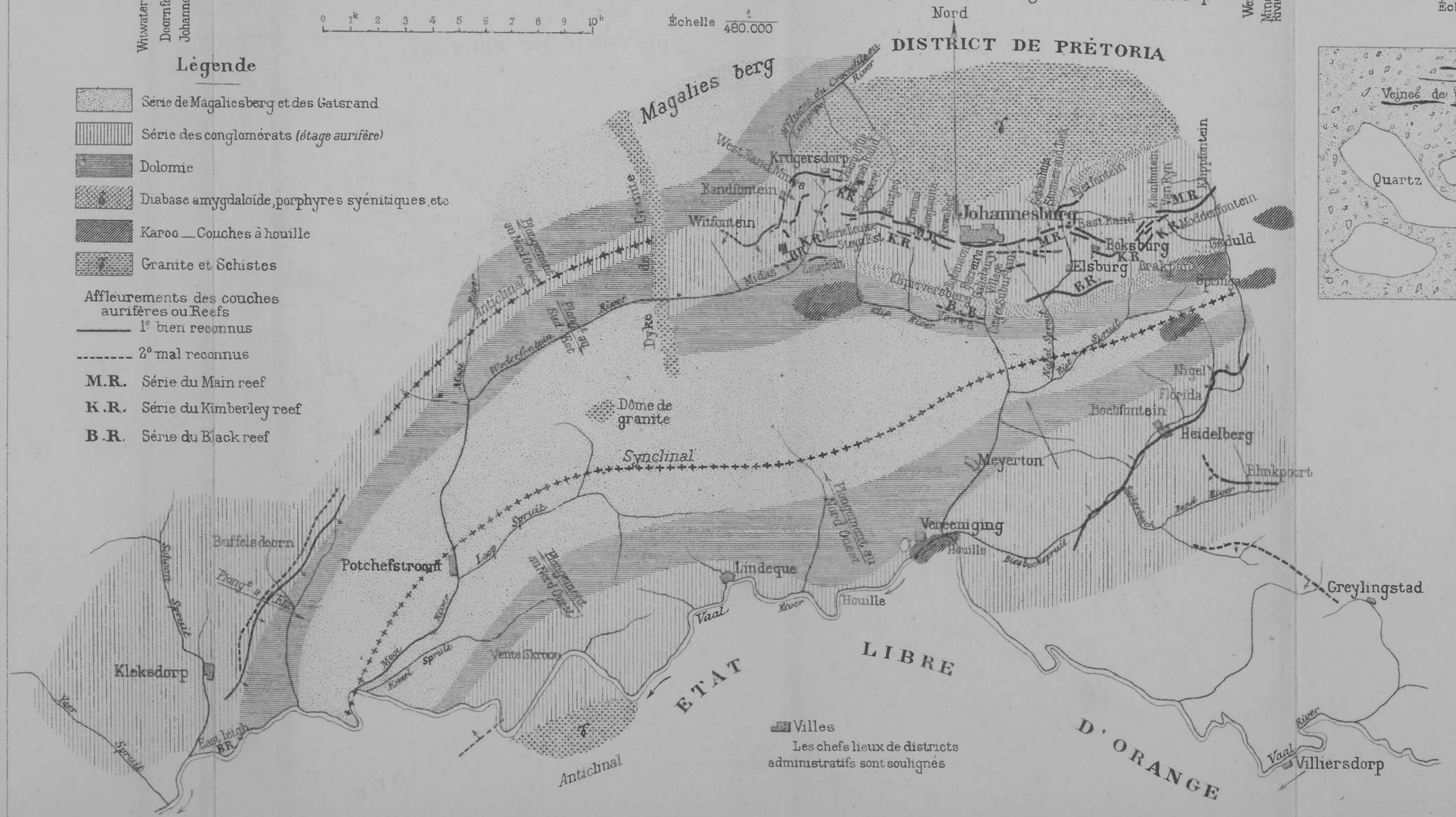


Fig. 3
Coupe donnant toute l'épaisseur du South reef au 5e niveau de la Wolhuter
avec la disposition des galets dans le quartzite et l'allure des zônes pyriteuses stratifiées.
A la partie supérieure, il y a passage progressif du conglomérat à la quartzite.
Échelle 2/3 grandeur réelle

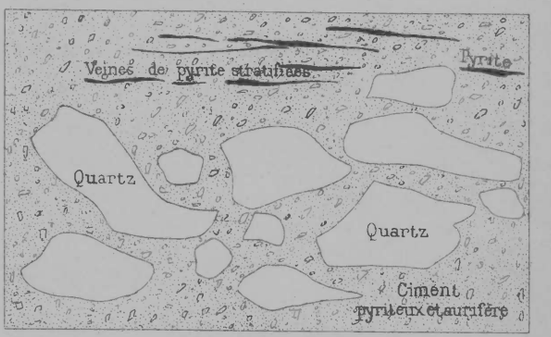
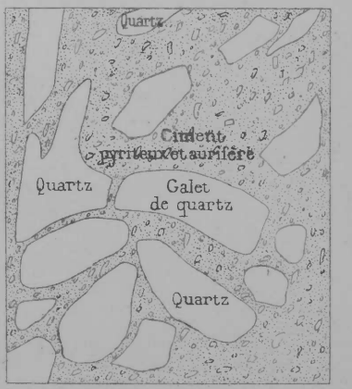


Fig. 4.
Disposition des galets de quartz dans un conglomérat du Nigel
(P n° 7, 6e niveau)
Échelle 2/3 grandeur réelle.



17478
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. — Forme générale d'un Reef de la série du Main Reef, représenté par courbes de niveau distantes de 50 mètres suivant la verticale.
en supposant enlevés les terrains supérieurs.

Nota. — L'échelle dans le sens de la direction du Reef (Est-Ouest) est 5 fois plus petite que suivant l'inclinaison (Nord-Sud)
c'est-à-dire dans les sens 0y et 0z, afin de faire ressortir la forme du Reef. Il en résulte que les projections horizontales des courbes de niveau, figurées ici,
sont 5 fois trop écartées les unes des autres.
Les × indiquent, sur chaque concession, le point le plus profond atteint par les travaux.

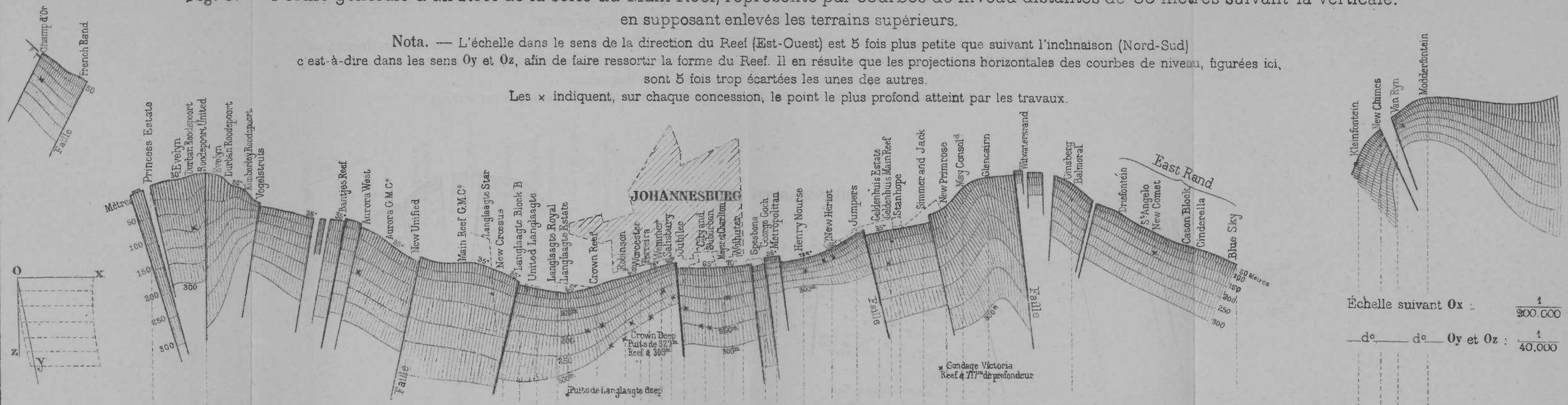


Fig. 2. — Courbe des variations de la teneur moyennne en grammes par tonne métrique
dans les mines ayant eu un broyage continu pendant le premier semestre 1895.
Les portions en traits interrompus ----- correspondent aux mines n'ayant pas broyé pendant cette période.

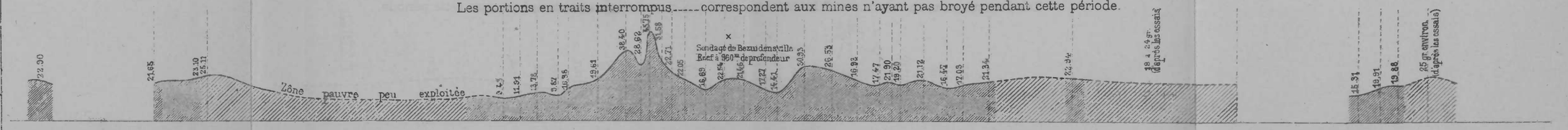


Fig. 3. — City and Suburban.
Coupe par le puits incliné principal.

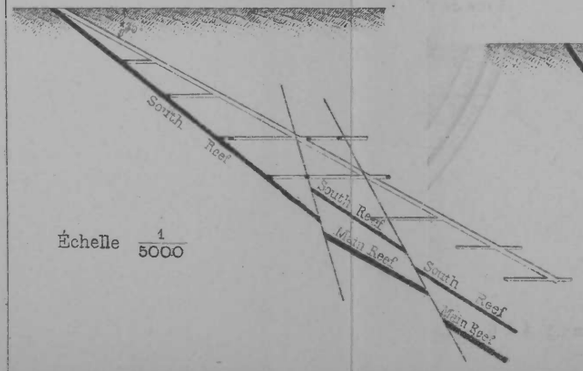


Fig. 4. — Meyer and Charlton.
Coupe par les 2 puits verticaux
Coupe transversale par le puits incliné principal

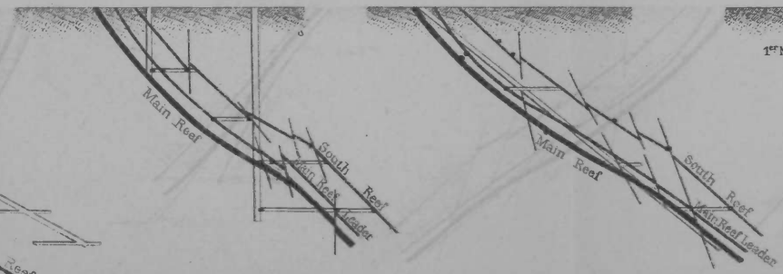


Fig. 5. — George Goch G. M. C°
Coupe transversale par le puits incliné principal (Mine de l'Ouest)
Coupe transversale par les travers-bancs et le puits. (Mine de l'Est)

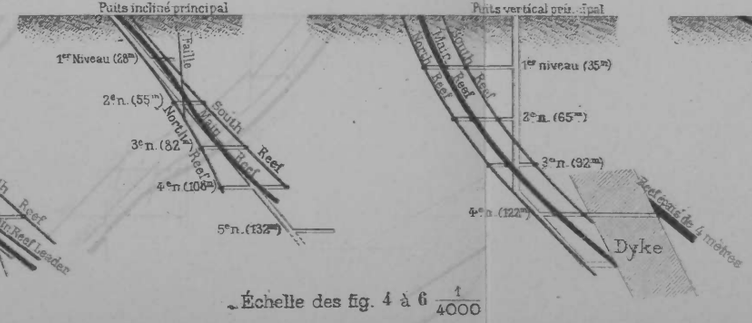


Fig. 6. — Geldenhuis Estate G. M. C°

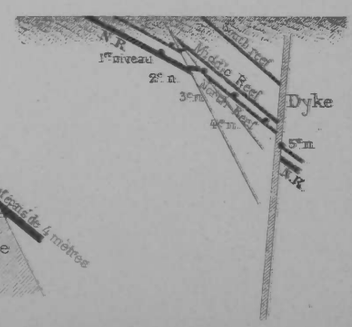


Fig. 1. — Durban Roodepoort
Block N° 2

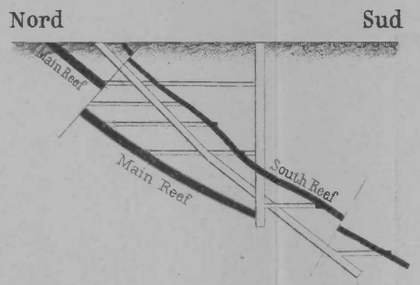


Fig. 2. — Aurora West United G. M. C° L^d

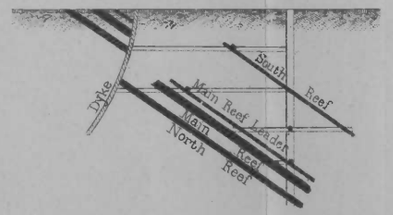


Fig. 3. — Langlaagte Royal
Coupe transversale

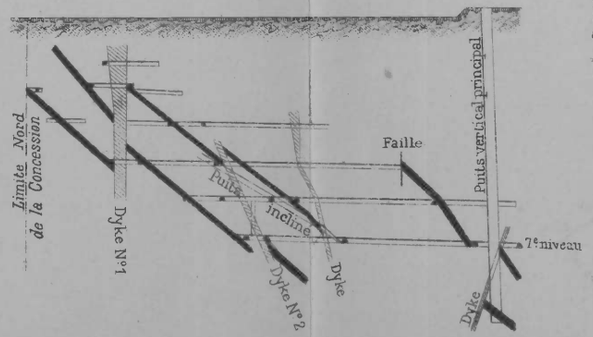


Fig. 4. — Crown Deep

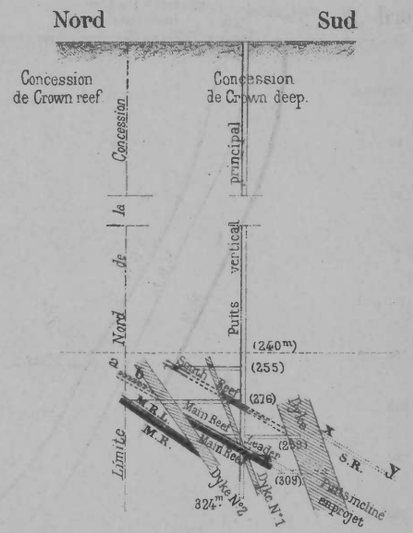


Fig. 5. — Ferreira G. M. C°
Coupe transversale par le Puits principal N° 1

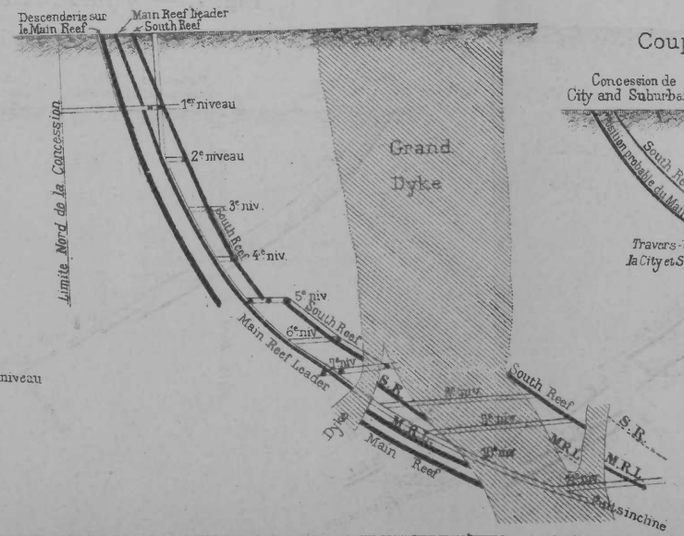


Fig. 6. — Wemmer G. M. C°
Coupe transversale par le puits principal

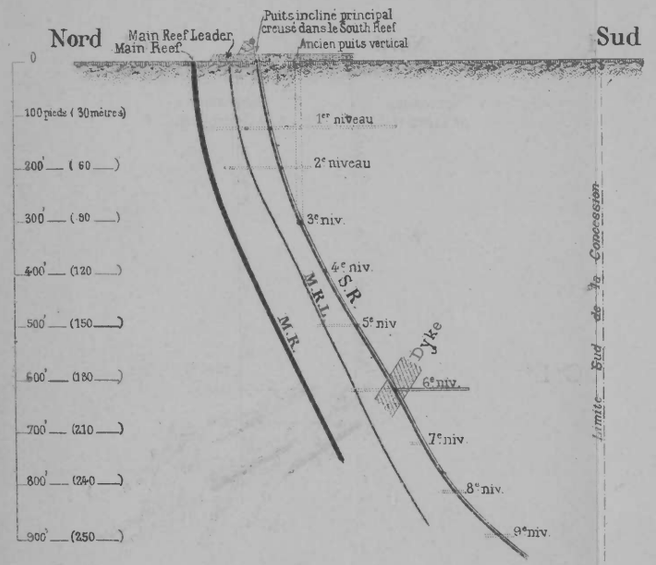


Fig. 7. — Village Main Reef
Coupe transversale par le Puits incliné principal

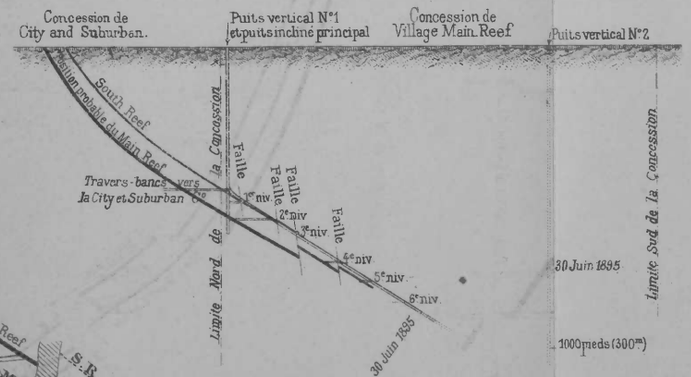


Fig. 8. — Salisbury G. M. C° L
Coupe par le puits principal

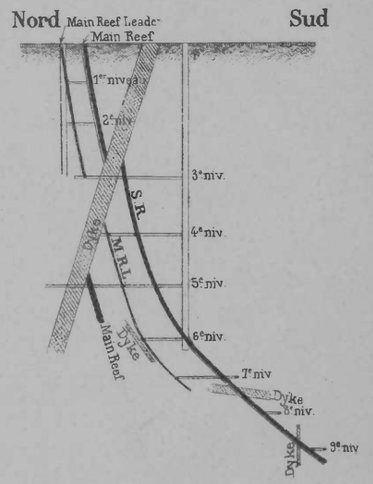
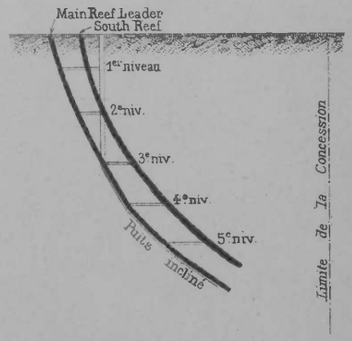


Fig. 9. — Jubilee G. M. C°
Coupe par le puits vertical principal



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. — Simmer and Jack.
Coupe transversale par le puits incliné N° 3.

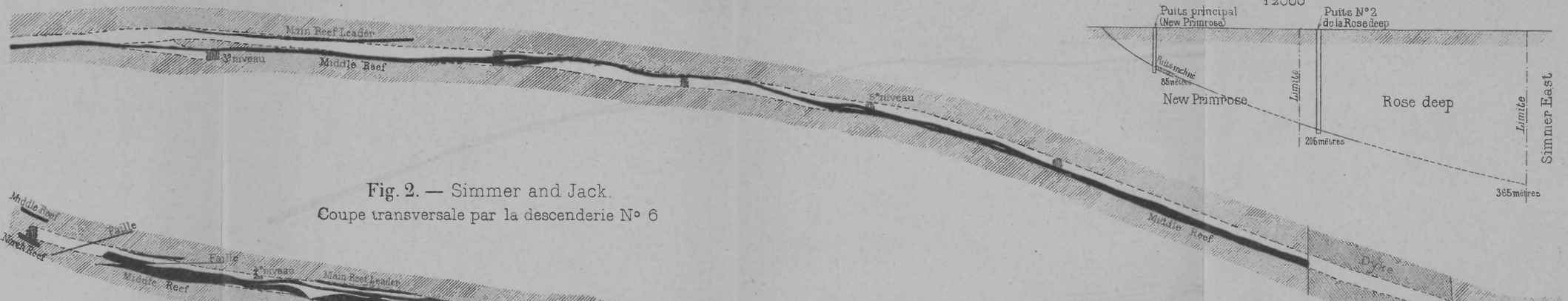


Fig. 2. — Simmer and Jack.
Coupe transversale par la descenderie N° 6

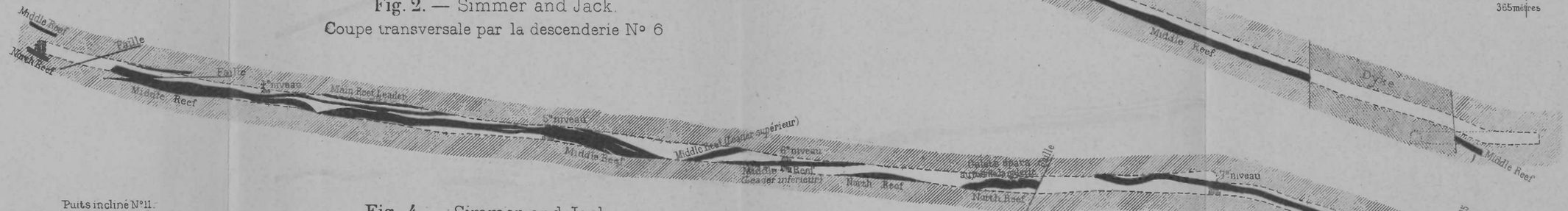


Fig. 3. — Simmer and Jack.
Coupe transversale par la descenderie supérieure au puits incliné N° 6.

Fig. 4. — Simmer and Jack.
Coupe **CD**

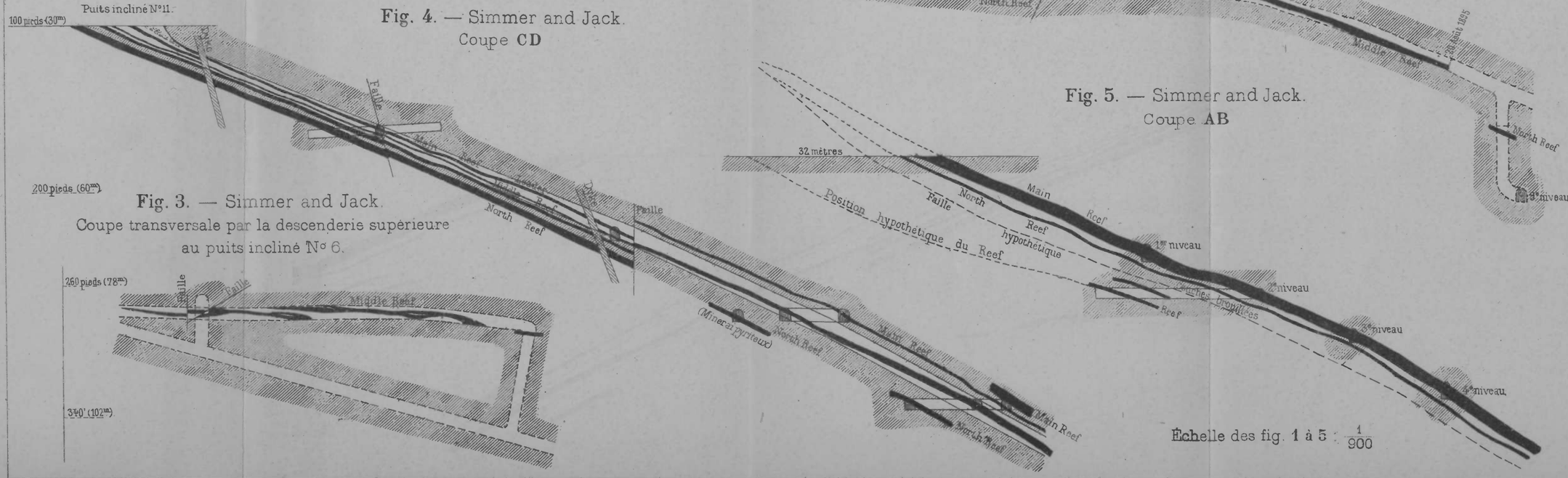
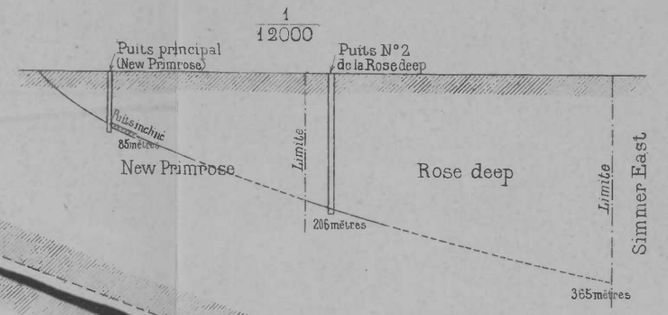


Fig. 5. — Simmer and Jack.
Coupe **AB**

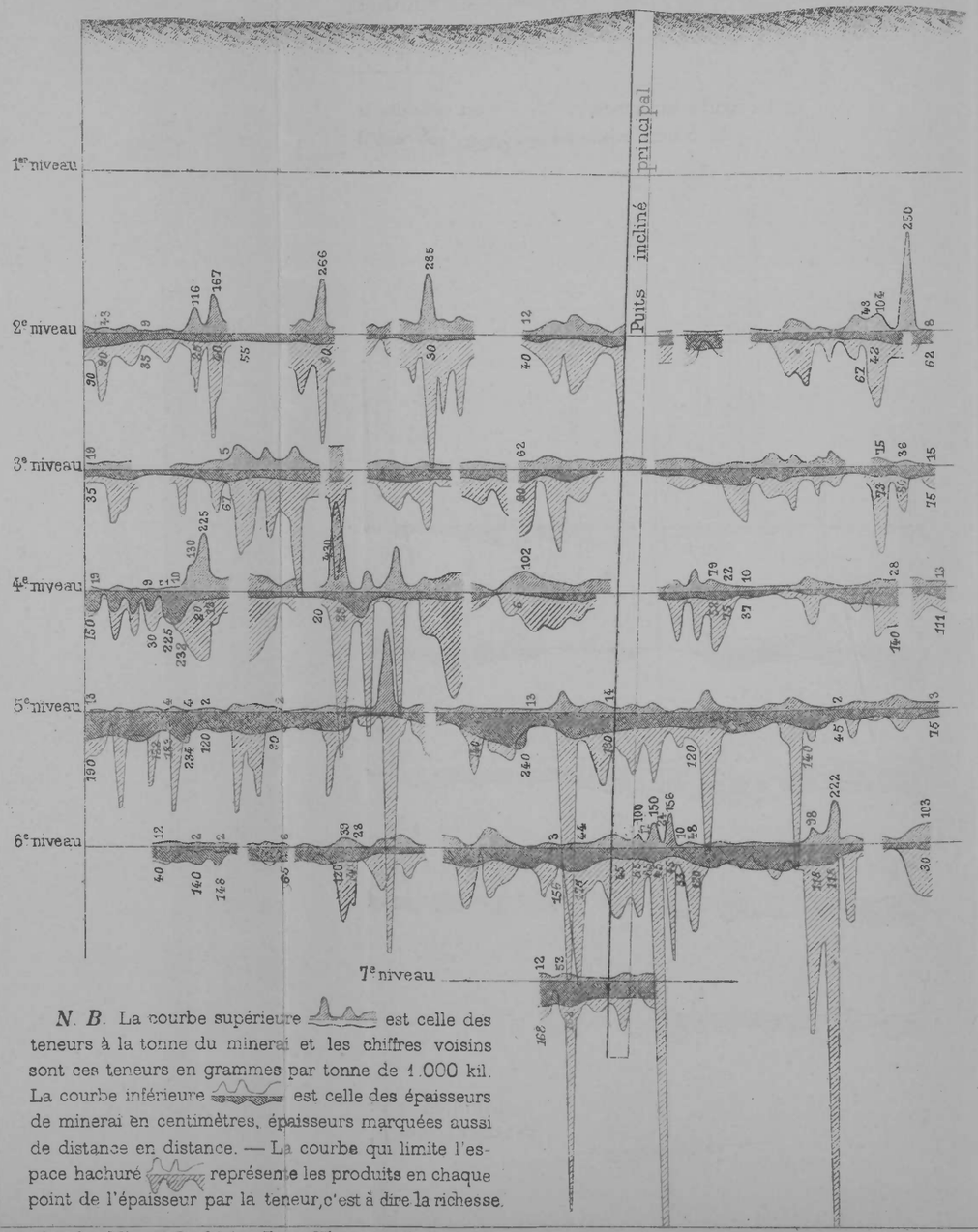
Fig. 6. — Identification des Reefs de la New Primerose et de la Rose deep.



Échelle des fig. 1 à 5 : $\frac{1}{900}$

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

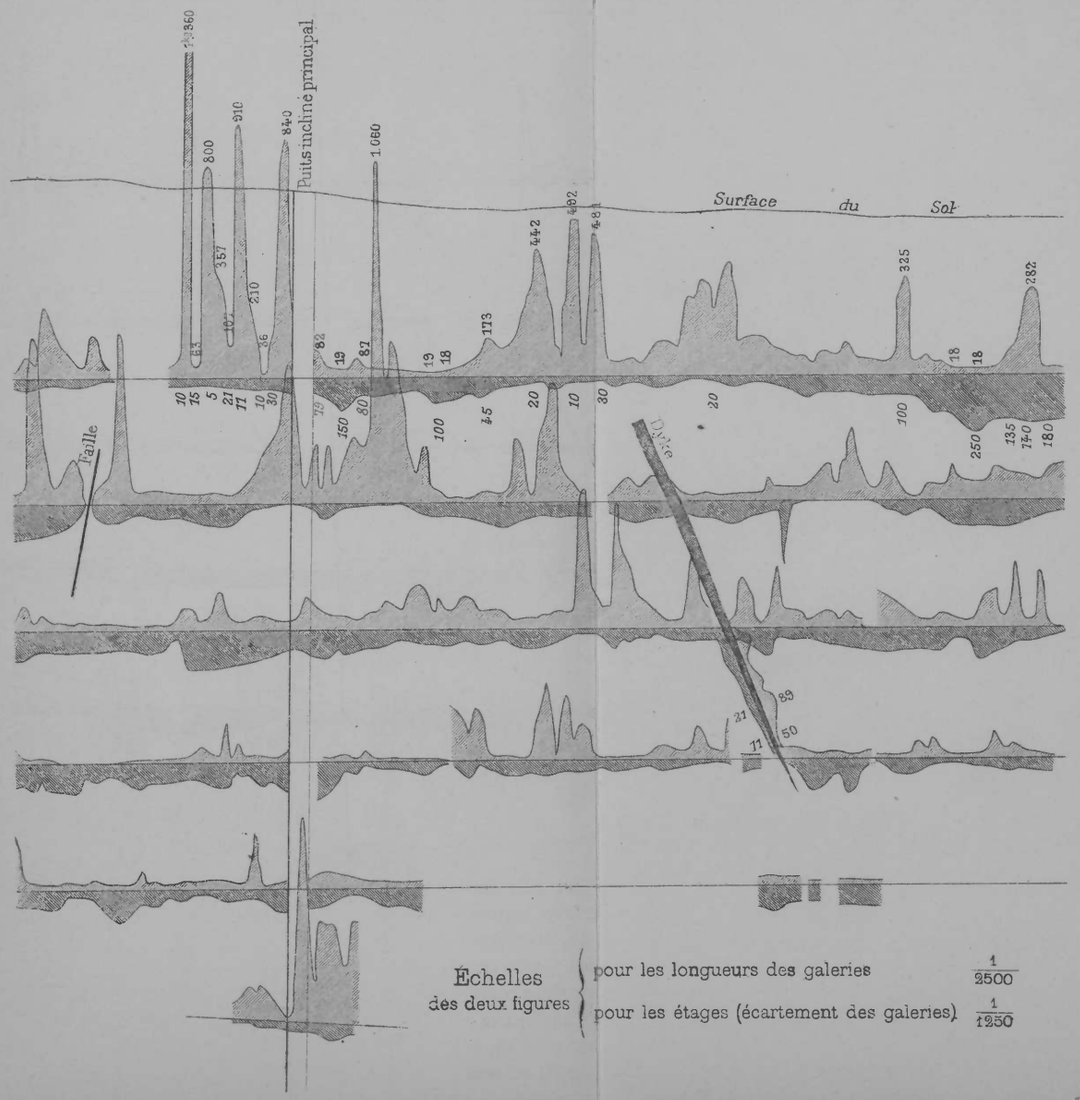
Fig. 1. — Interprétation graphique d'un plan d'essais
Main Reef Leader.



N. B. La courbe supérieure est celle des teneurs à la tonne du minerai et les chiffres voisins sont ces teneurs en grammes par tonne de 1.000 kil. La courbe inférieure est celle des épaisseurs de minerai en centimètres, épaisseurs marquées aussi de distance en distance. — La courbe qui limite l'espace hachuré représente les produits en chaque point de l'épaisseur par la teneur, c'est à dire la richesse.

Fig. 2. — Interprétation graphique d'un plan d'essais
South Reef
Les figures 1 et 2 correspondent à la même mine

La courbe supérieure est celle des teneurs en grammes par tonne de 1.000 kgs
La courbe inférieure est celle des épaisseurs du Reef en centimètres



Échelles des deux figures
pour les longueurs des galeries 1/2500
pour les étages (écartement des galeries) 1/250

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1 à 3. — Appareil

Fig. 1. — Élévation

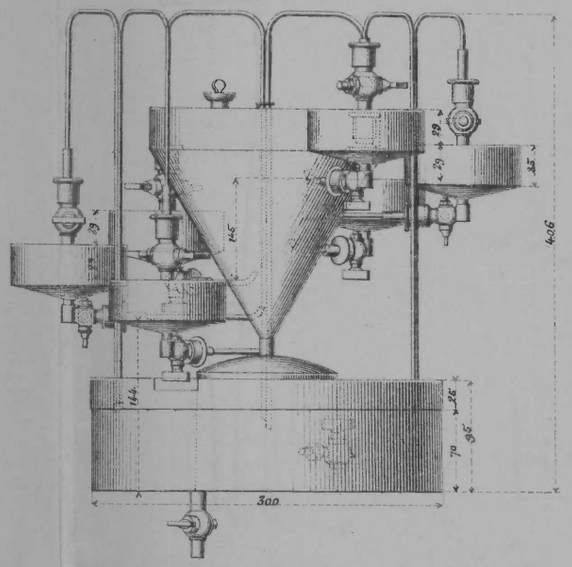


Fig. 2. — Coupe s^t A B

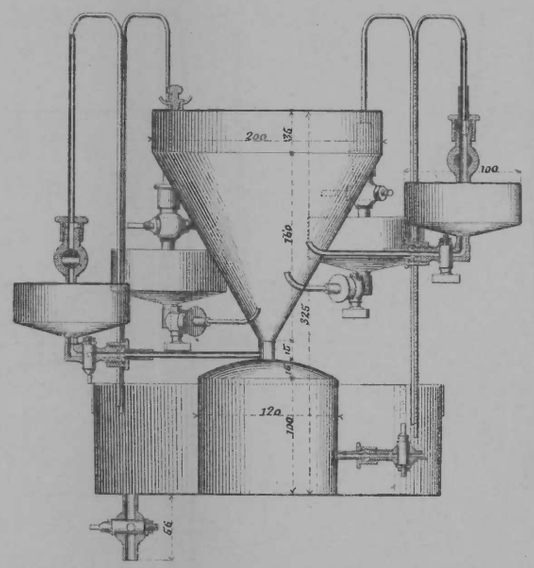


Fig. 3. — Plan

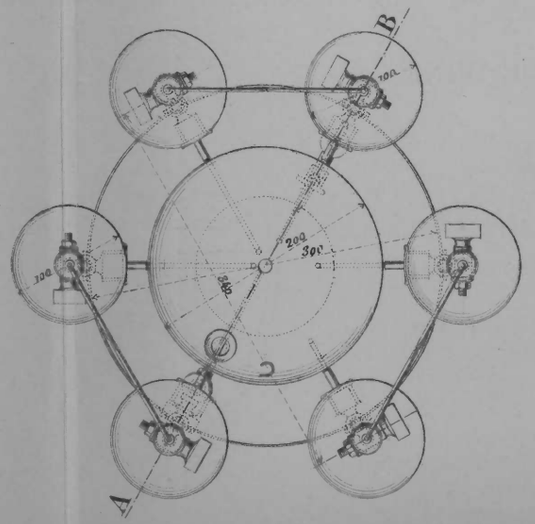


Fig. 4. — Enveloppe Élévation

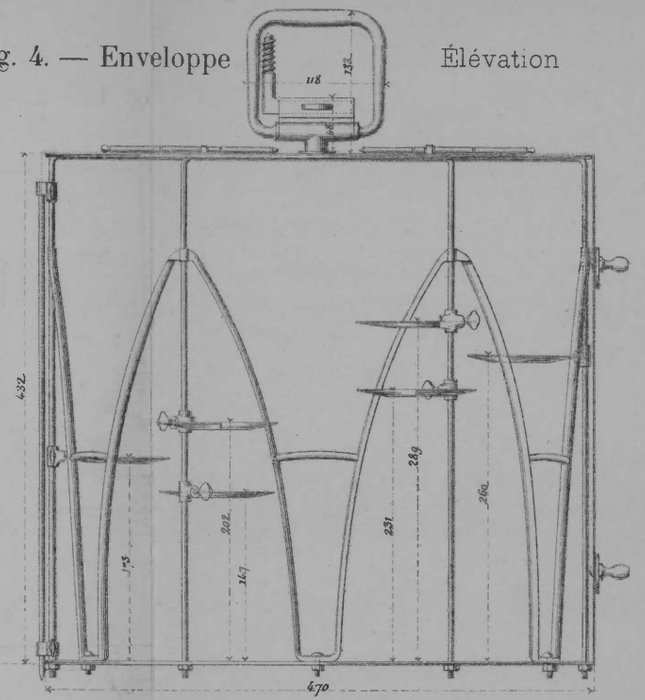
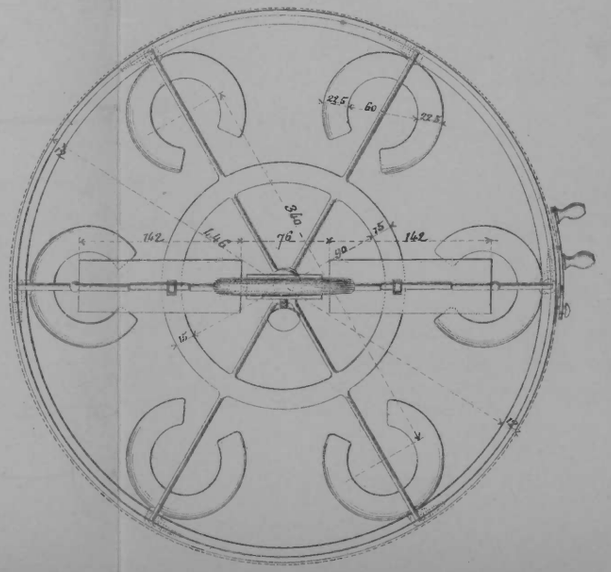


Fig. 5. — Plan



AUTO CAPTEUR POUR AIR DE MINE

Système PETIT

Échelle 1/6

Fig. 6. — Courbes des teneurs en grisou exprimées en millièmes du mardi 20 Mai 6 h. du matin au jeudi 22 Mai 6 h. du matin

Les hachures indiquent la teneur pendant les heures de travail au charbon
Les parties non hachurées indiquent la teneur
pendant la période de cessation complète du piquage

17438

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. — Australie.

Regions explorées ou connues en 1893.

Fig. 3.

Placers miocènes de Tangil (Gippsland)

Fig. 4. — Coupe par ad du plan

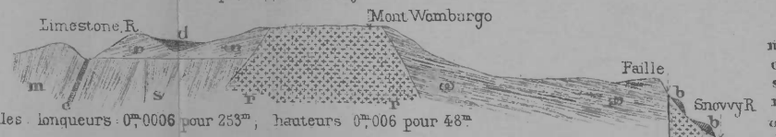
dans les travaux de la "Tangil Gold Mining Company"

Légende des Fig. 3 et 4

- Silurien
- Alluvions miocènes
- Basaltes miocènes
- Alluvions pliocènes
- Alluvions quaternaires
- Cours de l'ancienne vallée miocène constituant maintenant le "deep lead."

Fig. 2. — Coupe de la montagne Wombargo,

d'après M. Murray.



- m Gneiss et micaschistes
- c Calcaire
- s Schistes siluriens
- r Porphyres quartzifères
- (r) Porphyres de Snowy
- d Calcaire dévonien
- b Basaltes tertiaires

Fig. 5. — Coupe des hauts plateaux de Dargo,

d'après M. Murray.

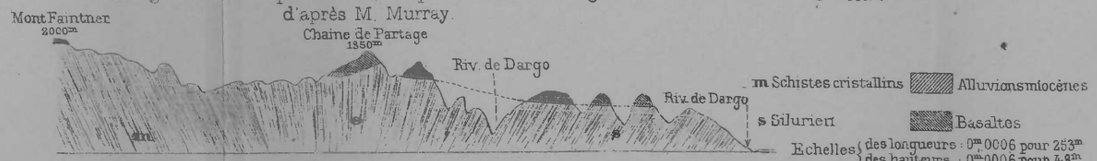


Fig. 7. — Coupe suivant la ligne 1 à 13 du plan. *(Ballarat)*

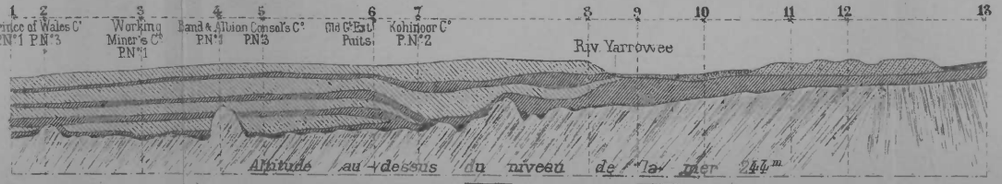
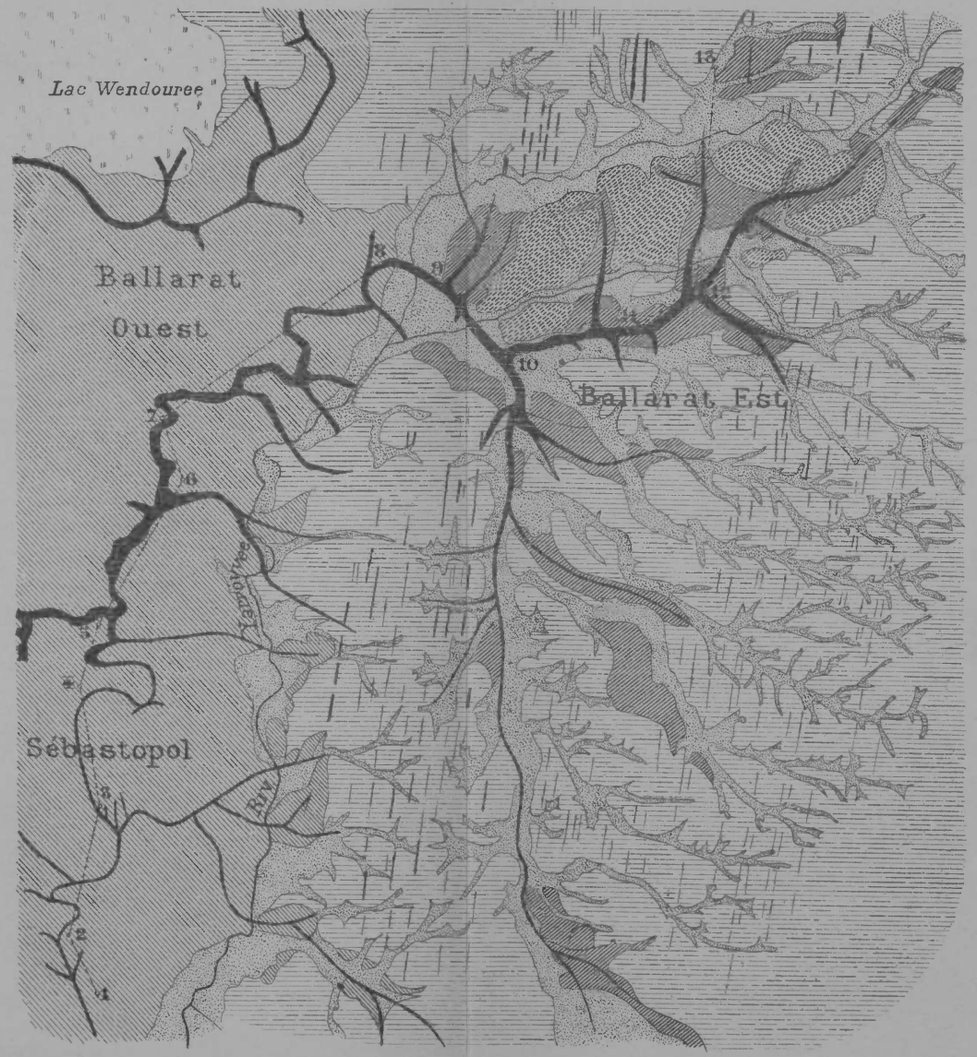


Fig. 6 et 7. — Placers de Ballarat.

Fig. 6. — Plan.

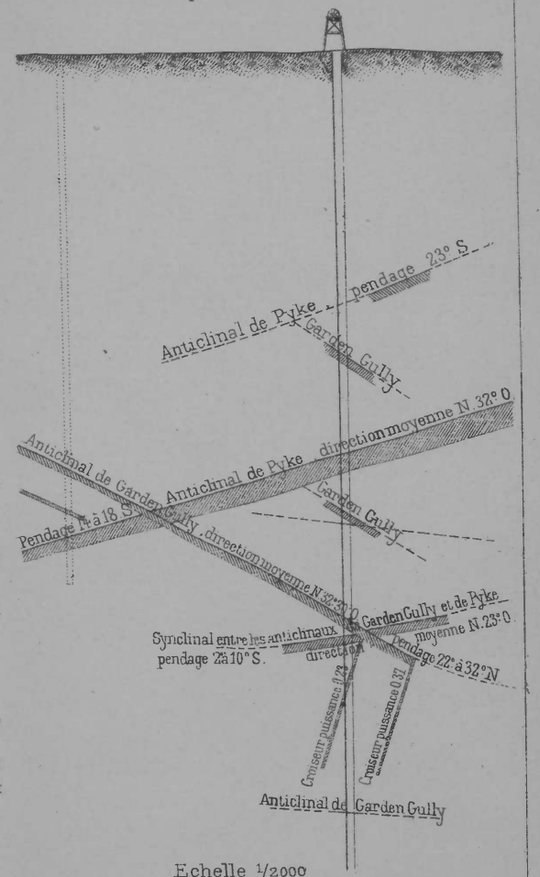


Légende de la Fig. 7.

- Silurien
- Pliocène inférieur
- Pliocène supérieur
- Quaternaire
- Laves pliocènes
- Cours des "deep leads"
- Filons de quartz
- Filons de quartz aurifères

Fig. 1. — Plan de la région de Bendigo.

Fig. 2. — Mine Johnson's Reef Extended
Projection sur un plan parallèle à l'axe des plis anticlineaux.



Echelle 1/2000

Légende de la Fig. 1.

- Filons de quartz
- Filons de quartz aurifères
- Alluvions récentes
- Placers déjà exploités. (Shallow placers)
- Schistes siluriens redressés et plissés

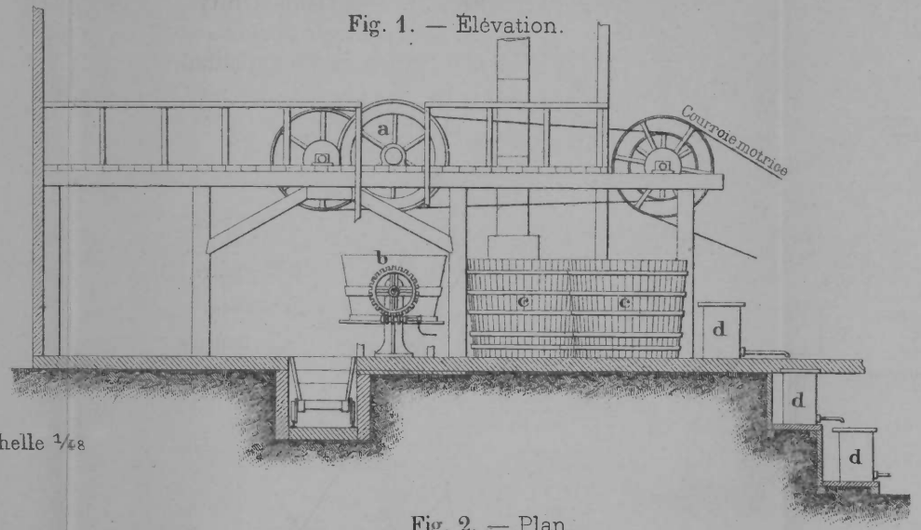
Annales des Mines. 9e Série. Tome IX, pages 315 et suivantes.

17680

Auto-lmp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

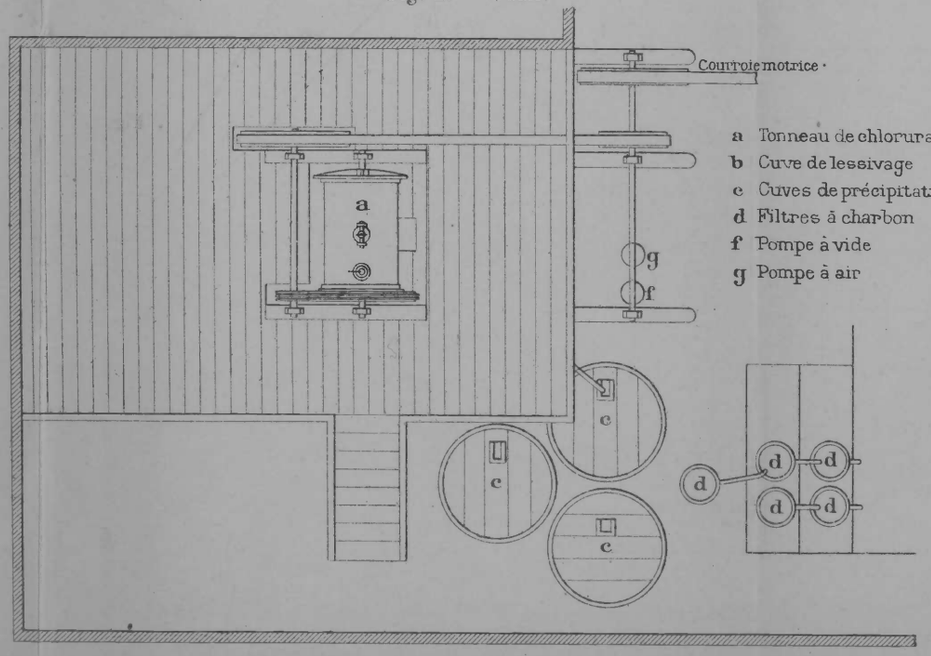
Fig. 1 et 2 — Atelier de traitement des pyrites par le procédé Newbury-Vautin.

Fig. 1. — Élévation.



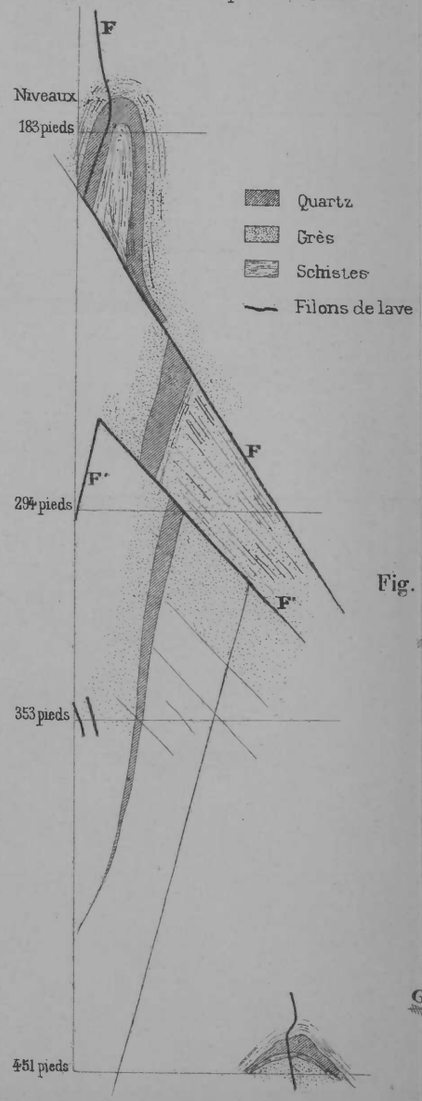
Echelle 1/48

Fig. 2. — Plan.



a Tonneau de chloruration
b Cuve de lessivage
c Cuves de précipitation
d Filtres à charbon
f Pompe à vide
g Pompe à air

Fig. 3. — Mine Unity.
Coupe verticale normale
à la direction du pli anticlinal.



Echelle 1/666

Fig. 4 et 5. — Mine " South New Chum. "
Coupe verticale normale
à la direction de l'axe anticlinal.

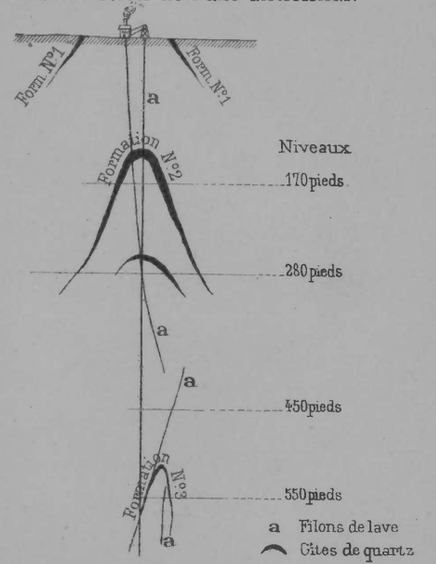
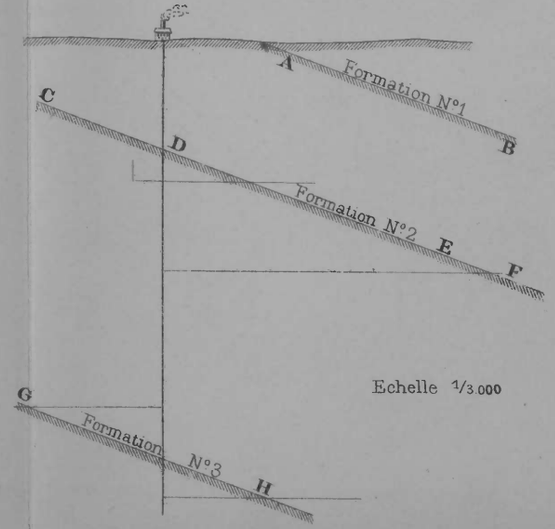


Fig. 5. — Coupe verticale suivant l'axe anticlinal.



Echelle 1/3.000

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1 — Plan de l'affleurement du gîte de Broken Hill.

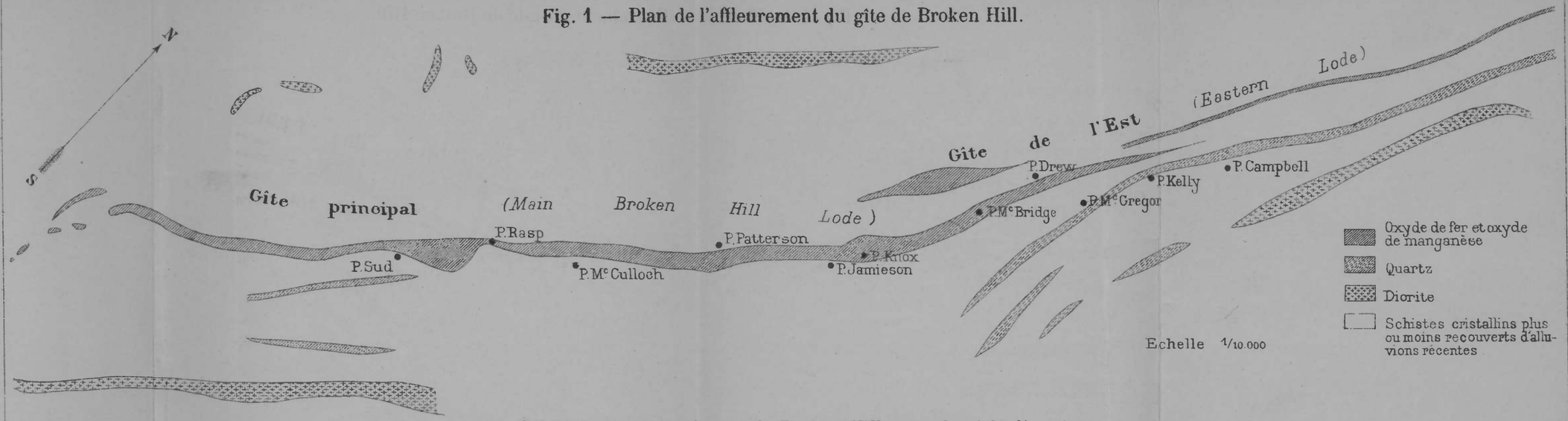


Fig. 2 à 12. — Sections du gîte de Broken Hill normales à la direction.

d'après M.J.B. Jaquet

Fig. 2. - P. Sud.

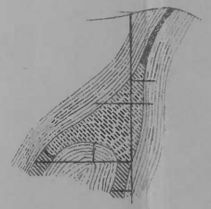


Fig. 3. - P. Rasp.

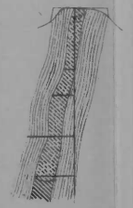


Fig. 4. - P. Mc Culloch.

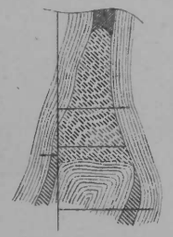


Fig. 5. - P. Patterson.

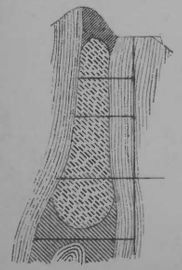


Fig. 6. - P. Jamieson.

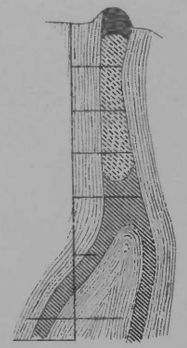


Fig. 7. - P. Knox.

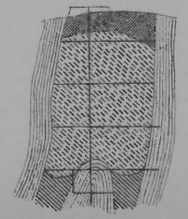


Fig. 8. - P. Mc Bridge.

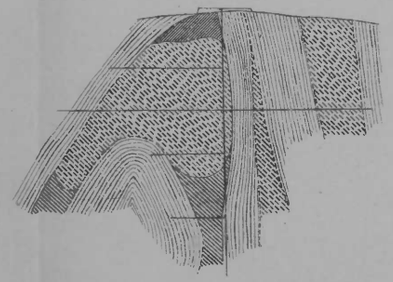


Fig. 9. - P. Drew.

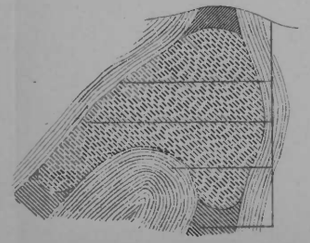


Fig. 10. - P, Mc Gregor.

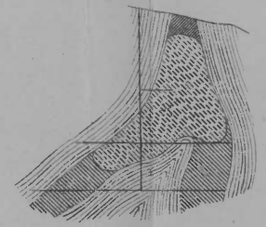


Fig. 11. - P. Kelly.

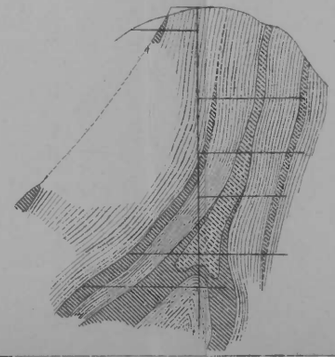
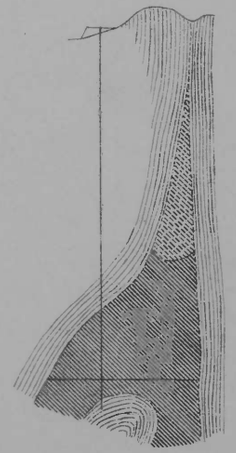


Fig. 12. - P. Campbell.



Chapeau de fer
Minerais oxydés
Minerai sulfuré

Echelle 1/3750

Annales des Mines. 9e Série. Tome IX, pages 315 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1.

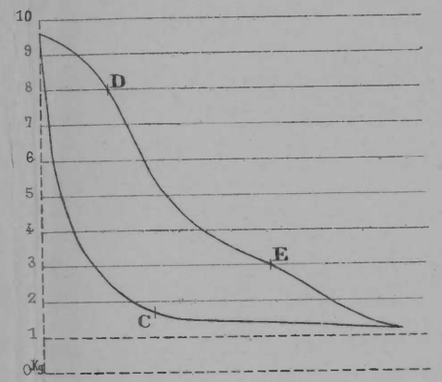


Fig. 2.

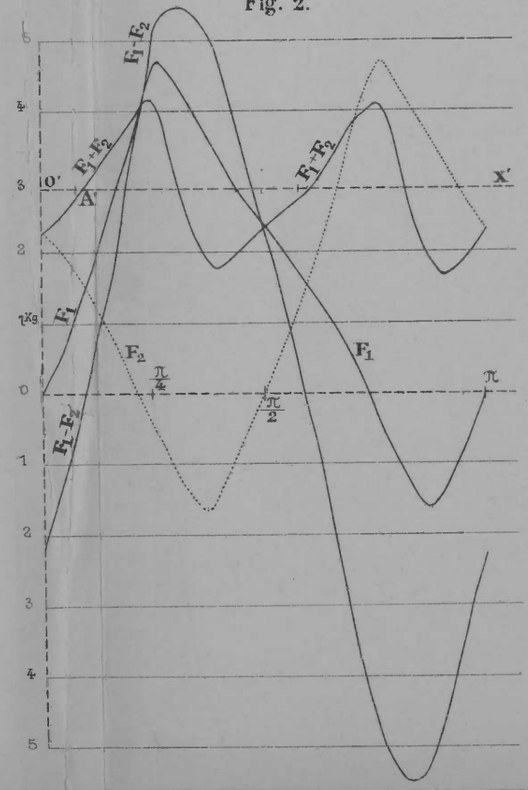


Fig. 3.

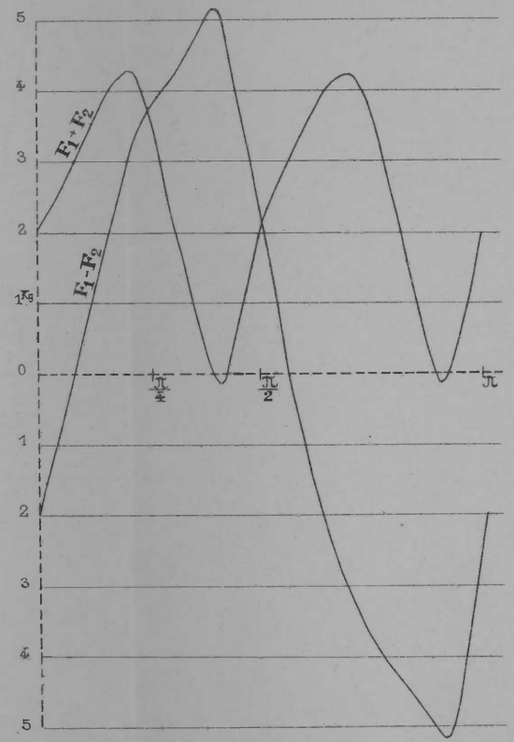


Fig. 4.

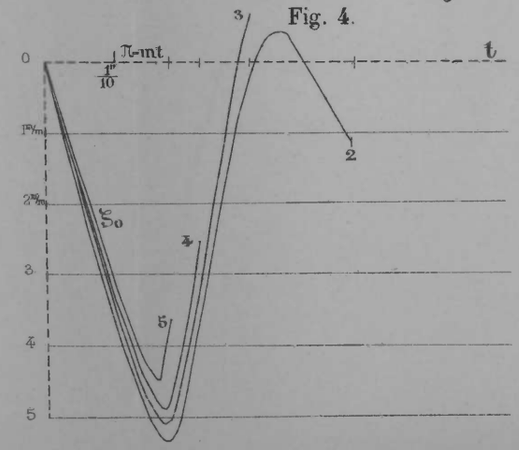


Fig. 5.

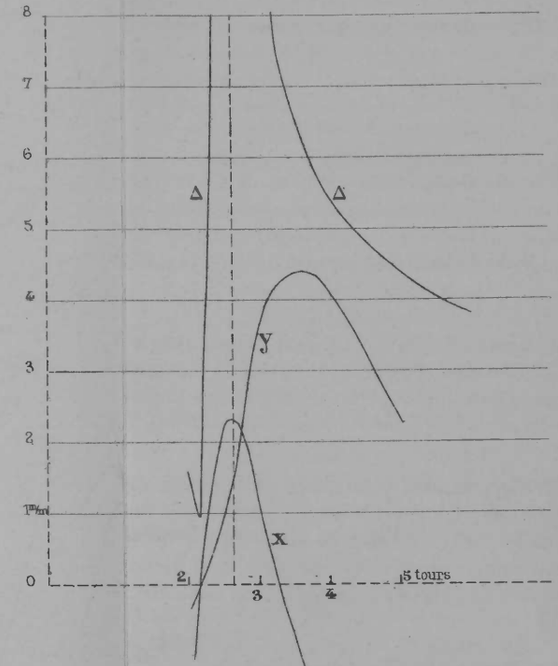
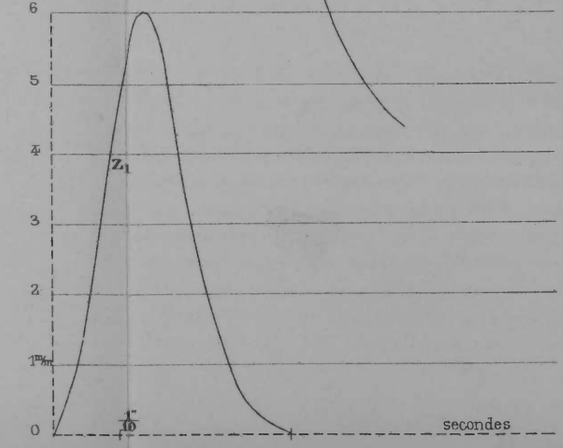


Fig. 6.

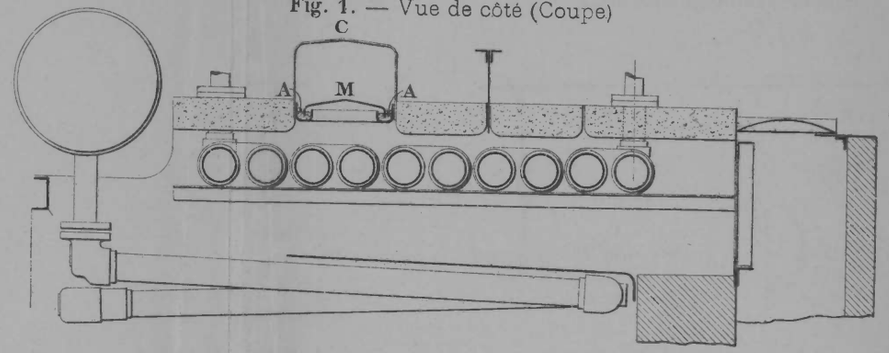


Annales des Mines. 9e Série. Tome IX, pages 413 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1 et 2. — Trappe d'expansion Belleville.

Fig. 1. — Vue de côté (Coupe)



Echelle des Fig. 1 et 2 : 0m04 p.m.

Fig. 2. — Plan

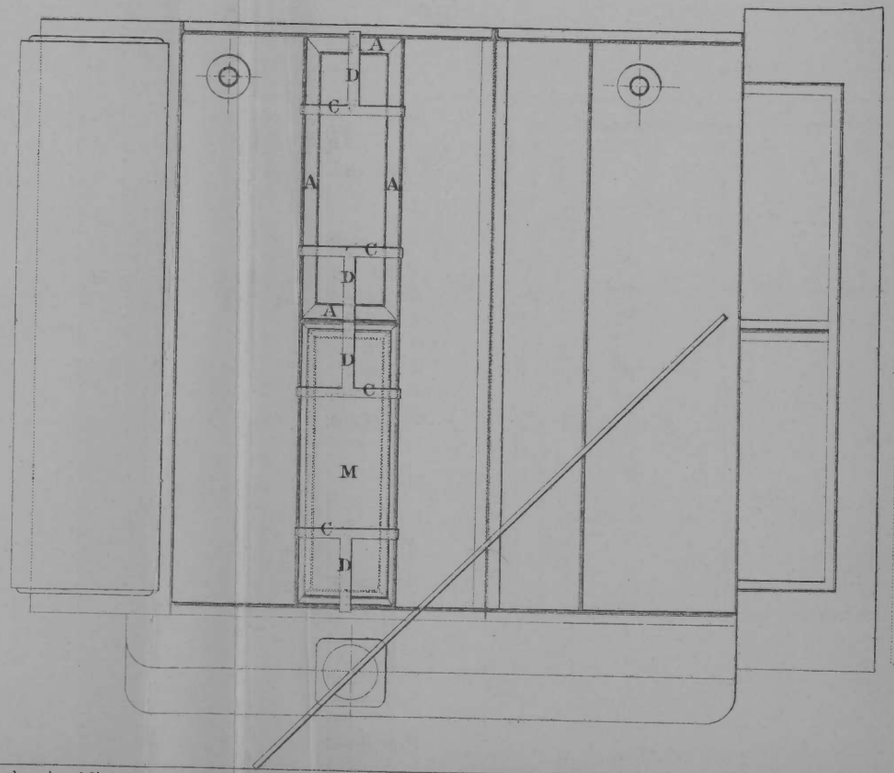


Fig. 3 et 4. — Trappe d'expansion de la Cie Continentale Edison

Fig. 3. — Coupe.

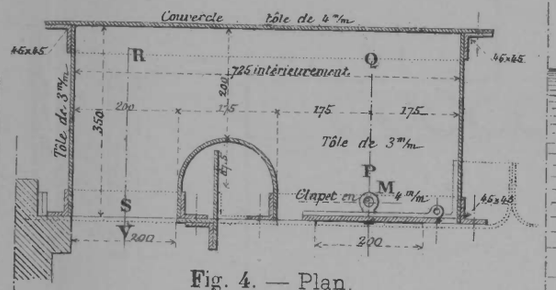


Fig. 4. — Plan.

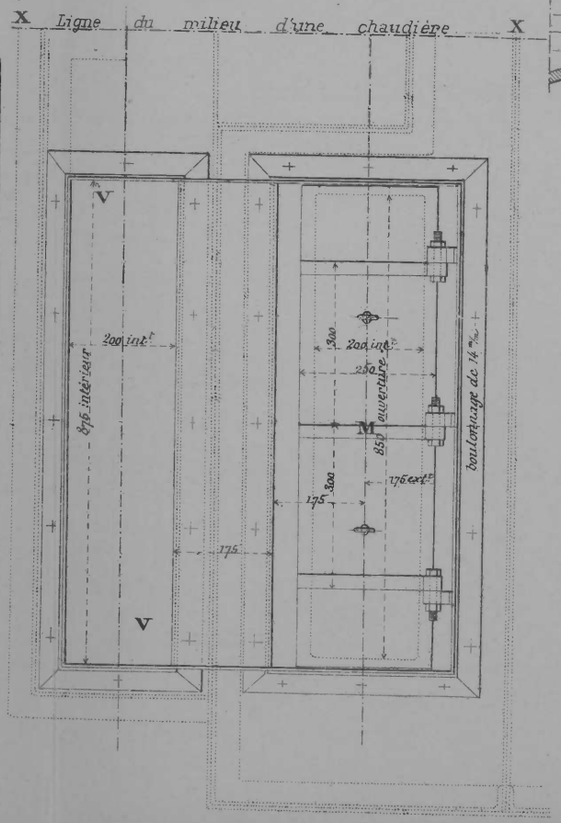


Fig. 5. — Trappe d'expansion Babcock et Wilcox.

Echelle : 0m10 p.m.

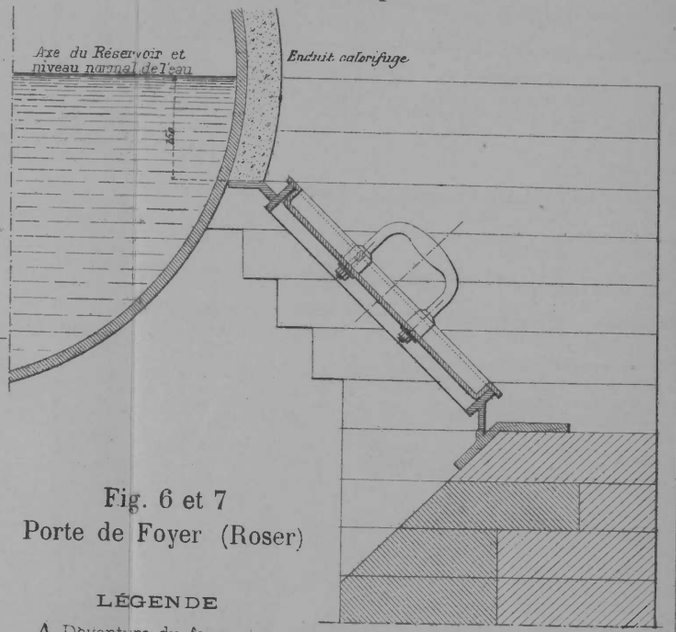


Fig. 6 et 7
Porte de Foyer (Roser)

LÉGENDE

- A Devanture du fourneau
- B Gueulard boulonné sur A
- C Porte de foyer
- D Contre-porte
- E Axe de la porte
- F Contrepoids
- G Poignée

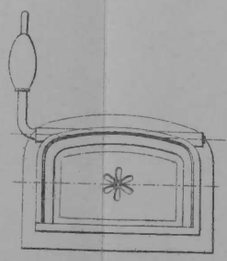
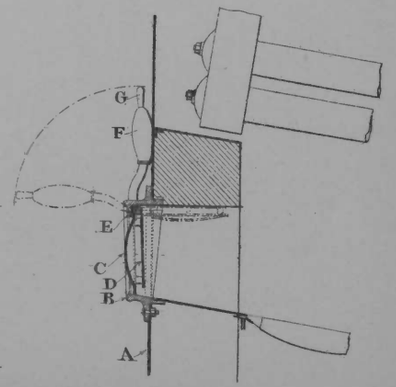


Fig. 6. — Élévation.

Fig. 7. — Coupe.



Annales des Mines. 9e Série, Tome IX, pages 521 et suivantes.

17686

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1 et 2 — Porte de foyer (Babcock et Wilcox).

Fig. 1. — Élévation.

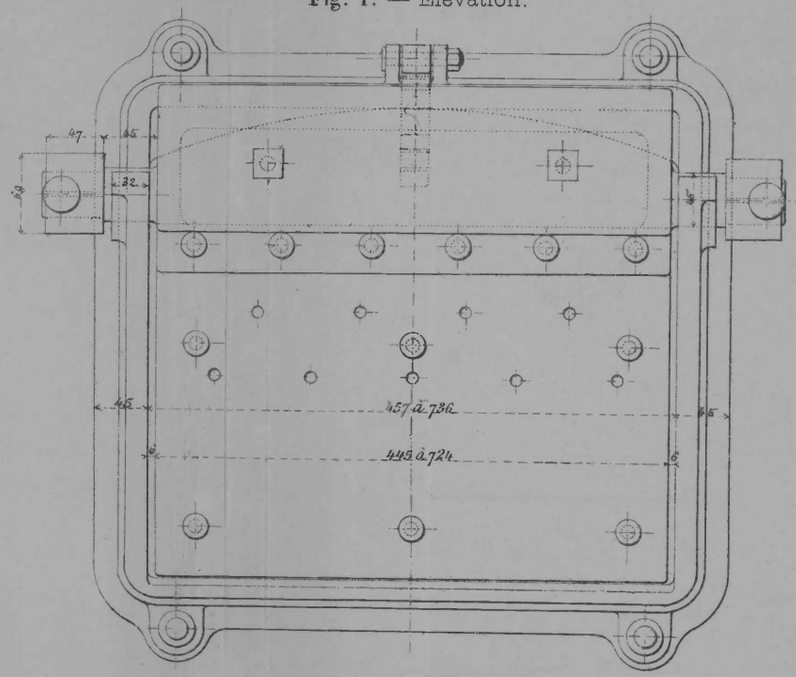


Fig. 2. — Coupe.

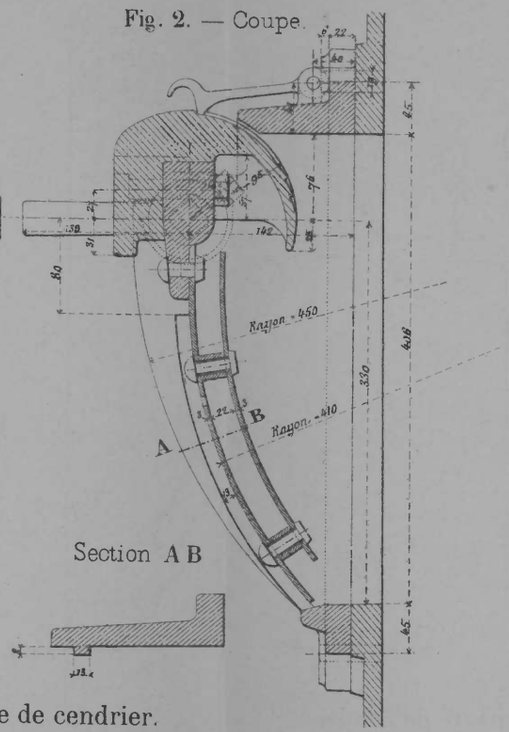


Fig 3 et 4. — Écran de sûreté pour ouverture de cendrier. (Babcock et Wilcox)

Fig. 3. — Élévation.

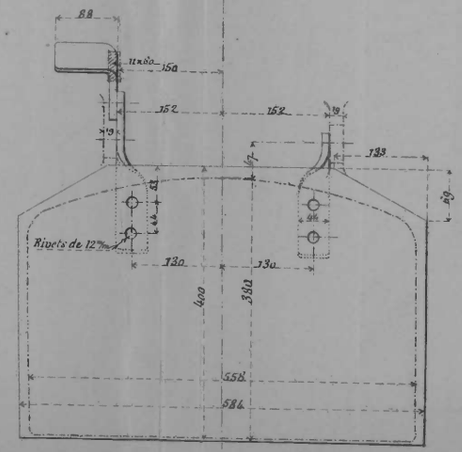


Fig. 4. — Coupe.

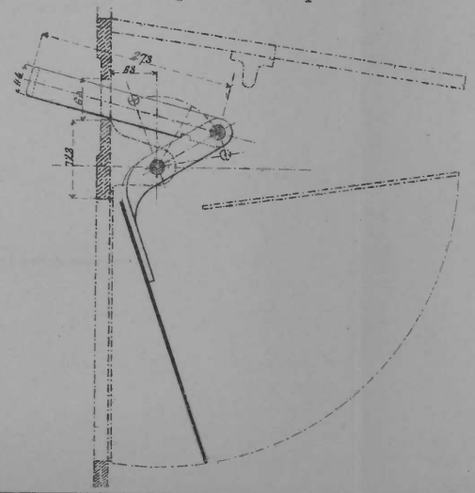


Fig. 5 et 6. — Porte de Cendrier (Roser)

Fig. 5. — Élévation.

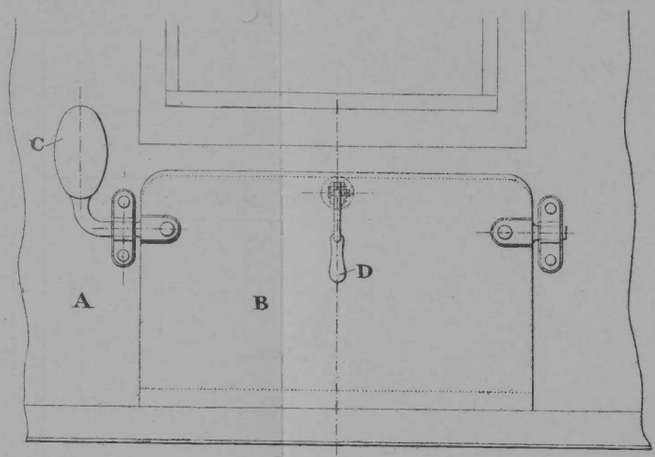
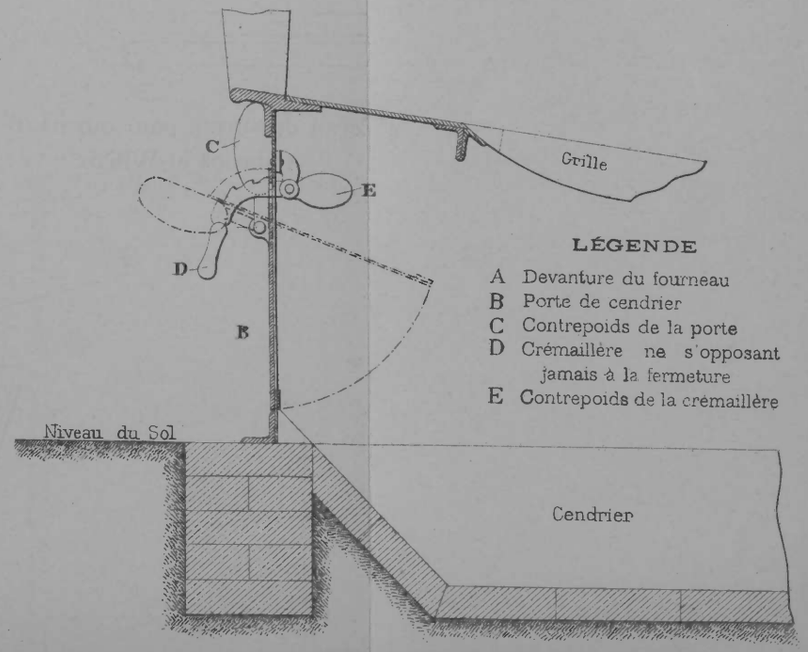


Fig. 6. — Coupe en travers.



LÉGENDE

A Devanture du fourneau
B Porte de cendrier
C Contrepoids de la porte
D Crémaillère ne s'opposant jamais à la fermeture
E Contrepoids de la crémaillère

17685

Auto-Imp. L. Courtier 43 rue de Dunkerque Paris

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉCHAUFFEMENT DE L'AIR

PARCOURANT UN TUYAU MAINTENU EXTÉRIEUREMENT A UNE TEMPÉRATURE DÉTERMINÉE

Appareils d'expérience

Fig. 1. — Élévation.

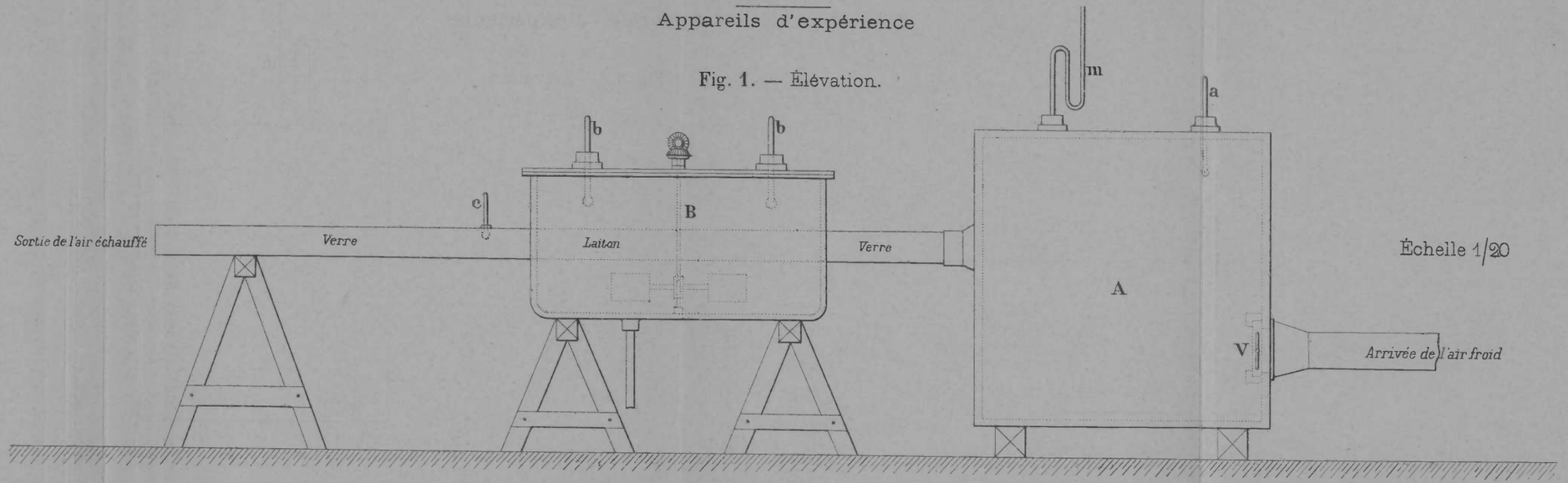
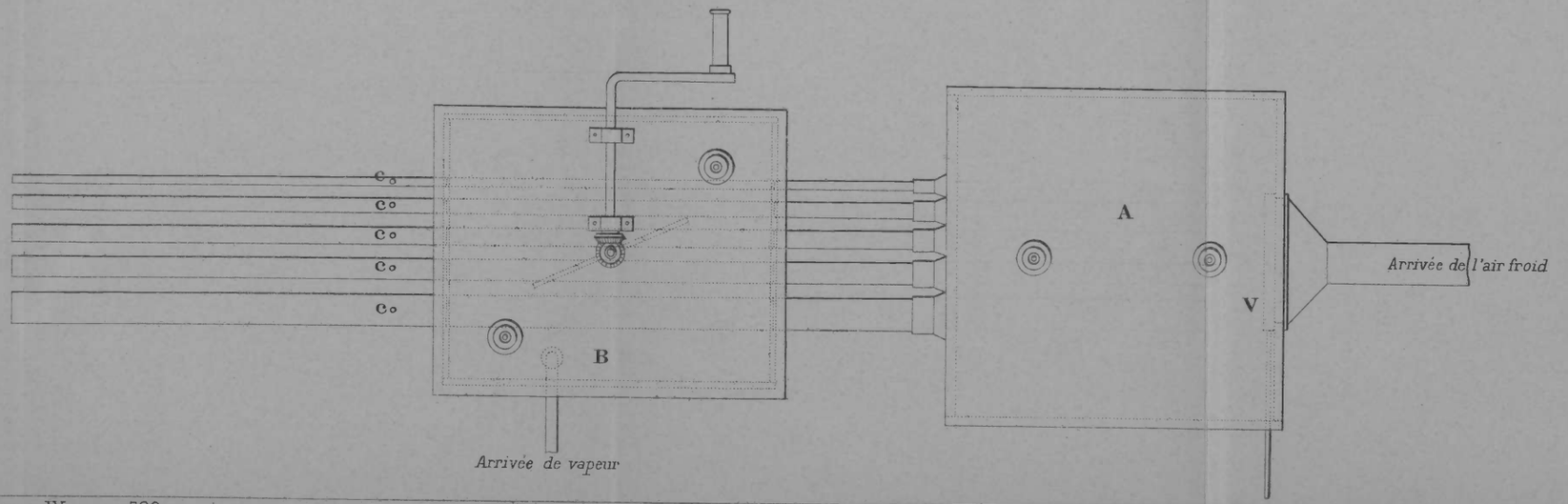


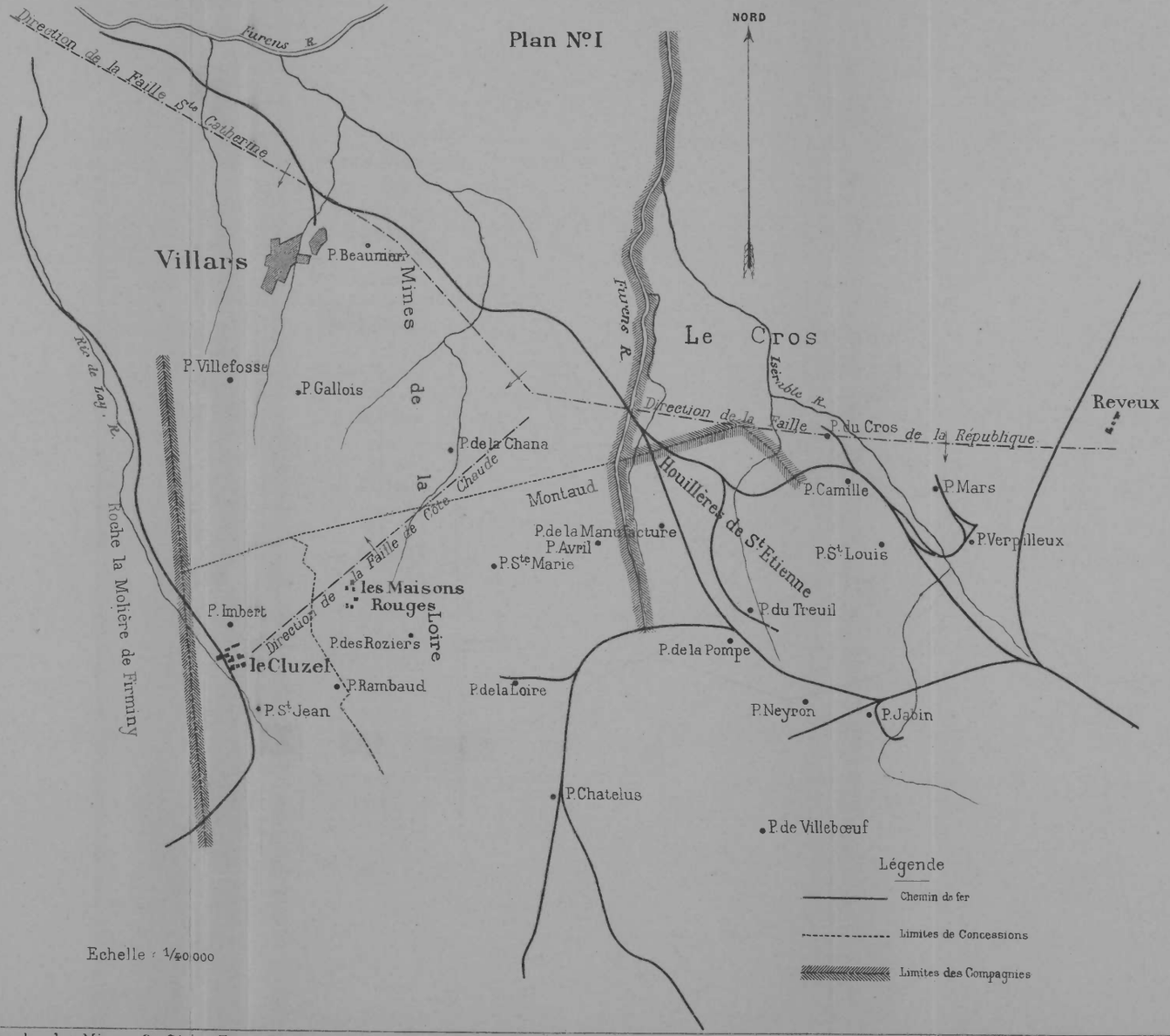
Fig. 2. — Plan.



Annales des Mines, 9e Série. Tome IX, pages 529 et suivantes.

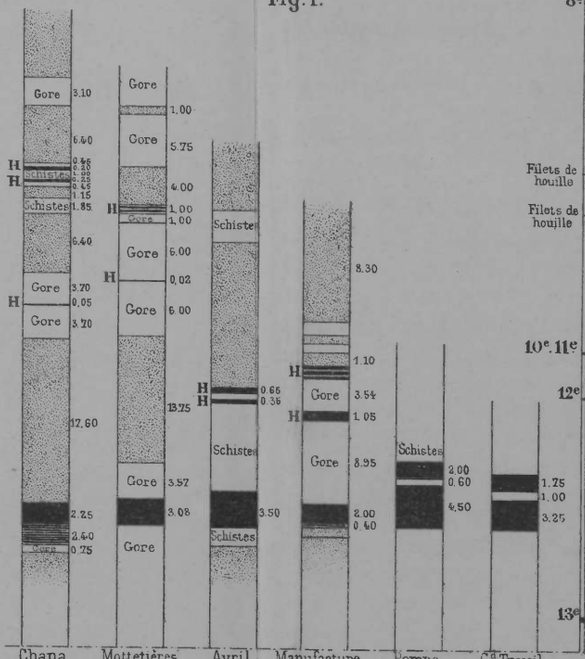
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Plan N° I

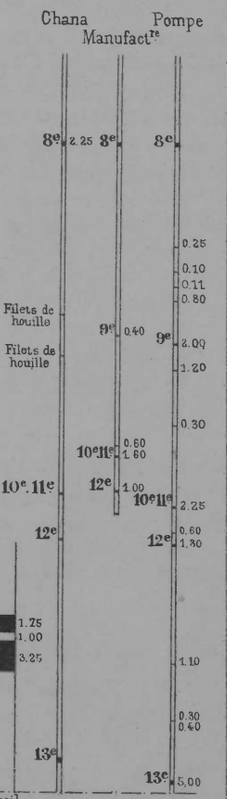


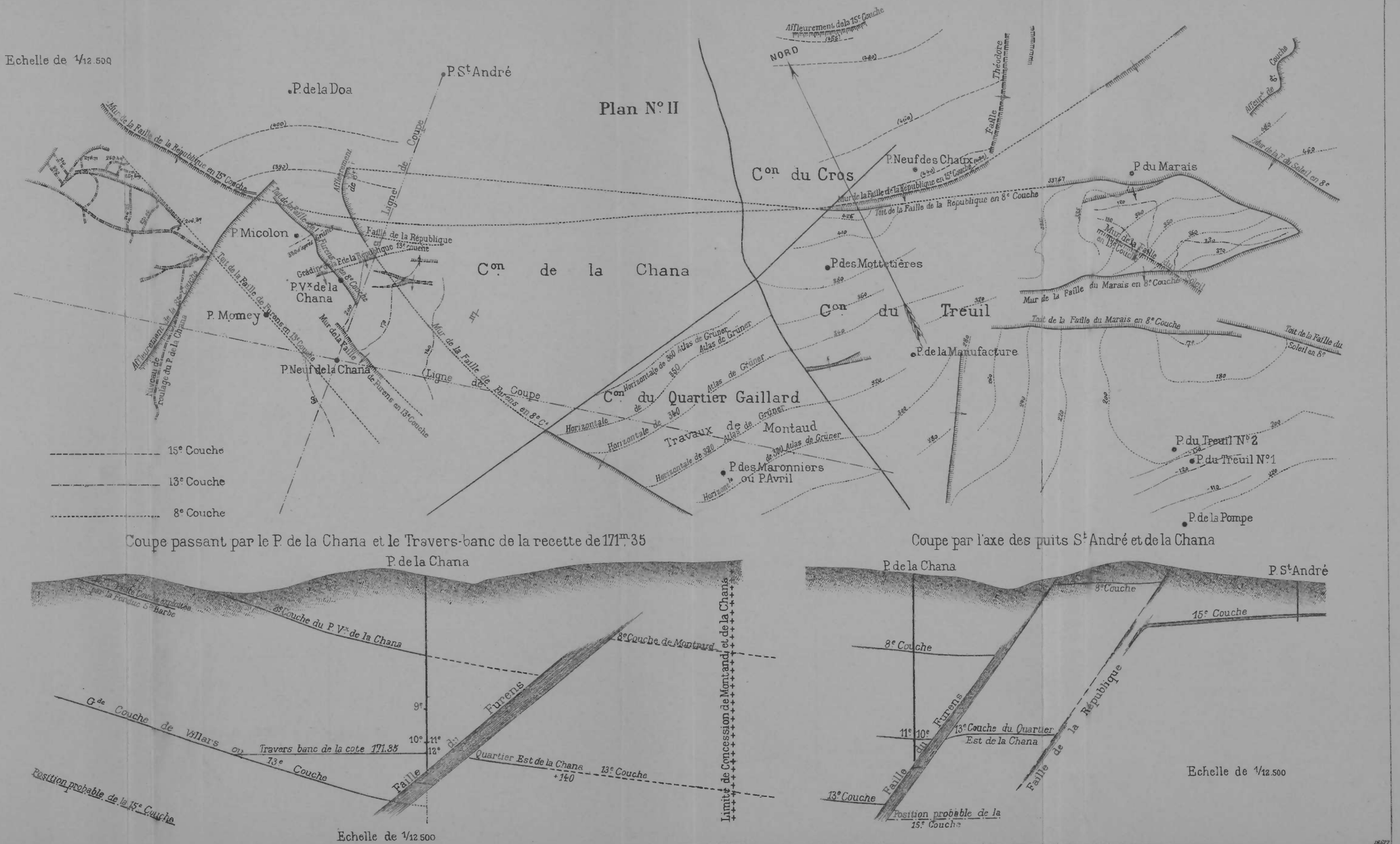
La 8e Couche et la Crue aux Puits de la Chana, Mottetières, Avril, de la Manufacture, de la Pompe et du Grand Treuil

Fig. 1.



Coupes des Puits de la Chana, de la Pompe, et de la Manufacture

Fig. 2.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.



Coupe passant par le P. de la Chana et le Travers-banc de la recette de 171m.35

Echelle de 1/12.500

Coupe par l'axe des puits St André et de la Chana

Echelle de 1/12.500

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.