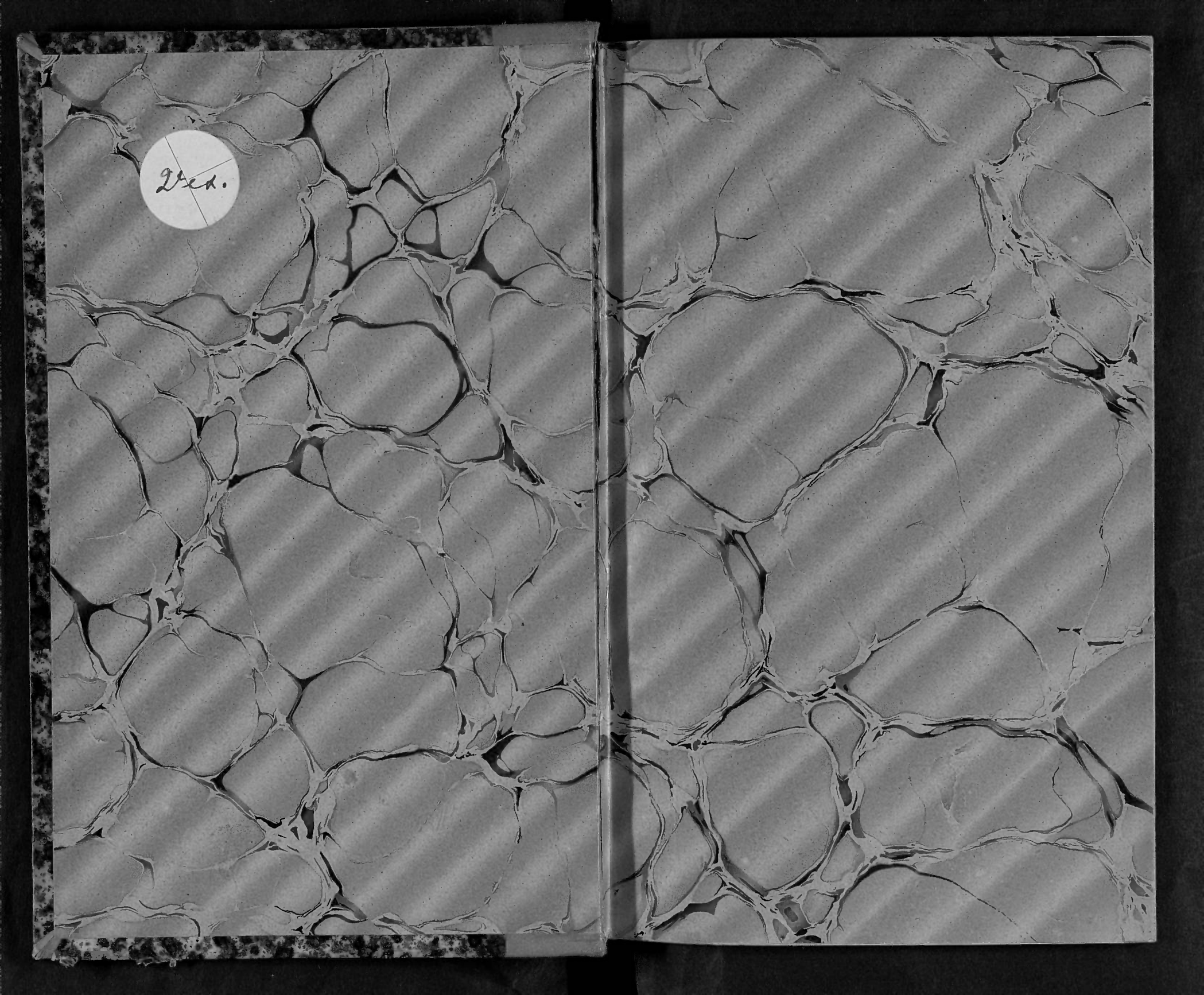
Dub.


2 Ked.

ANNALES

DES MINES

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

MM.

LINDER, inspecteur général des mines, *président*.

CASTEL, inspecteur général.

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.

ONSEL, inspecteur général.

RÉSAL, inspecteur général, professeur à l'École supérieure des mines.

MALLARD, d°

LORIEUX, inspecteur général.

MASSIEU, d°

LAUR, d°

VILLOT, d°

PESLIN, d°

GHEYSSON, inspecteur général des ponts et chaussées, professeur à l'École supérieure des mines.

MM.

KELLER, ing. en ch., secrét. de la Commission de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur.

VICAIRE, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

POTIER, d°

CARNOT, ingénieur en chef, inspecteur de l'École supérieure des mines.

AGUILLON, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

LEDOUX, d°

DOUVILLÉ, d°

BERTRAND, d°

LE CHATELIER, d°

LODIN, d°

SAUVAGE, ingén. des mines, professeur à l'École supérieure des mines.

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 usqu'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'étranger.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

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 VI

PARIS

Vve CH. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS

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

Quai des Grands-Augustins, 49

1894

ANNALES

DES MINES

ÉTUDE THÉORIQUE ET PRATIQUE DES LOCOMOTIVES COMPOUND

Par M. NADAL, Ingénieur au Corps des mines.

INTRODUCTION.

Depuis quelques années, les compagnies de chemins de fer ont mis en service un assez grand nombre de locomotives compound de types très divers. On a procédé à de nombreux essais sur ces machines et on a discuté très longuement les mérites du système compound appliqué aux locomotives, sans jamais parvenir à une conclusion bien précise. Au 4e Congrès international des chemins de fer, les conclusions suivantes ont été adoptées :

« Le Congrès constate que l'emploi du principe com-
« pound offre, entre autres avantages, un moyen d'uti-
« lisation des hautes pressions et une économie réalisée
« dans la consommation du combustible et de l'eau. Il
« estime que ce système permet une augmentation de
« puissance sans exagération de la fatigue des pièces ;
« il admet, en revanche, qu'il en résulte une certaine
« augmentation des frais d'entretien et de graissage pour

« les machines possédant plus de deux cylindres et des « chaudières à plus haute pression que celles des ma- « chines ordinaires.

« Le nombre et la disposition des cylindres à employer, « ainsi que l'usage d'un appareil de démarrage automa- « tique, sont des questions d'espèce. »

On voit que les conclusions du Congrès sont plutôt favorables à l'application du système compound aux locomotives.

La croyance que le système compound est avantageux pour les locomotives n'est pas universelle. On a objecté que ce système est économique seulement pour une machine fournissant un travail constant et que les locomotives compound ne doivent donner qu'une économie insignifiante, en raison du travail variable qui est demandé à ces machines. Pour ce qui est des facilités de démarrage, de la stabilité des machines, de la diminution des effets dus au laminage de la vapeur et de la diminution des condensations dans les cylindres, il y aurait, semble-t-il, peu de différence entre les locomotives ordinaires et les compound. Enfin, l'économie de combustible réalisée dans ces dernières serait compensée par les difficultés d'entretien, provenant de la complication mécanique, et les dépenses supplémentaires de graissage.

Les recherches théoriques et pratiques les plus importantes de toutes celles qui ont été entreprises sur la locomotive compound sont dues à MM. Mallet, Borodine (Société des ingénieurs civils, 1886), Worthington (Institut des ingénieurs civils de Londres, 1888), et Henry, ingénieur en chef de la traction du chemin de fer Paris-Lyon. M. Borodine a appliqué à l'étude des locomotives la méthode expérimentale de Hirn. Ses principales conclusions sont les suivantes : La marche en compound a procuré incontestablement une économie de vapeur et de combustible de 15 à 20 p. 100 en service ordinaire, mais qui

varie considérablement avec les conditions de marche de la locomotive. L'économie de vapeur du système compound permet de remorquer des trains plus lourds, pourvu que l'adhérence et la puissance de traction ne fassent pas défaut. On peut affirmer, finalement, que l'emploi des machines compound est exceptionnellement avantageux.

D'après M. Worthington, on peut arriver, avec les machines compound, à une économie de combustible moyenne de 18 p. 100.

A la compagnie du Nord, des expériences très complètes ont été faites, en service courant, sur des locomotives compound (Notes de MM. Pulin et du Bousquet, dans la *Revue générale des chemins de fer*, années 1887 et 1892). Il résulte de ces expériences qu'il y a, avec le système compound, une économie notable de combustible, que la consommation de graissage n'est pas très supérieure à celle des locomotives ordinaires et que les frais d'entretien sont moindres. Cette dernière conclusion paraît, il faut l'avouer, quelque peu surprenante.

En résumé, l'application du système compound aux locomotives a fait de très grands progrès dans ces dernières années. Il est démontré que ce système est avantageux. Mais on n'a pu, jusqu'ici, préciser d'une façon bien nette les motifs et l'étendue de cette supériorité. Nous pensons qu'on peut y parvenir en appliquant à l'étude des locomotives compound la théorie mathématique des machines à vapeur dont nous avons fait connaître le résumé dans les *Annales des Mines* (livraison de juin 1893). Le présent mémoire a pour but de donner un exemple de cette étude.

CHAPITRE I.

CONSTRUCTION DES DIAGRAMMES DES PRESSIONS DANS LES CYLINDRES D'UNE LOCOMOTIVE COMPOUND.

1. Locomotive compound n° 2121, de la compagnie du Nord.

Dans l'application que nous allons faire, de la théorie générale des machines à vapeur aux locomotives compound, nous prendrons comme exemple la machine à quatre cylindres, n° 2.121, de la compagnie du Nord. Cette machine est décrite dans la *Revue générale des chemins de fer*, juin 1892.

Les dimensions des cylindres sont les suivantes :

	DIAMÈTRE	COURSE	HAUTEUR des lumières	LARGEUR des lumières
Cylindre à haute pression, H. P.	$0^m,34$	$0^m,64$	$0^m,26$	$0^m,035$
Cylindre à basse pression, B. P.	$0^m,53$	$0^m,64$	$0^m,40$	$0^m,040$

Le rapport des volumes des cylindres à basse et à haute pression est de 2,42.

Le rapport du volume du réservoir intermédiaire au volume total des deux petits cylindres est de 1,36.

J'ai mesuré aussi exactement que possible le volume et la surface des espaces neutres et j'ai trouvé les chiffres suivants :

	VOLUME DES ESPACES neutres		SURFACE DES ESPACES neutres	
	Avant	Arrière	Avant	Arrière
Cylindre H. P.	$0^{m3},007456$	$0^{m3},0065$	$0^{m2},5713$	$0^{m2},5003$
Cylindre B. P.	$0^{m3},008$	$0^{m3},008$	$0^{m2},84$	$0^{m2},84$

La distribution est du système Walschaert pour les deux cylindres.

La chaudière fournit de la vapeur à la pression absolue de 15 kilogrammes (*).

Il s'agit, d'une part, de construire théoriquement les diagrammes des pressions de la vapeur dans les cylindres, pour une vitesse et des crans de marche donnés, afin d'en déduire le travail produit, et, d'autre part, d'évaluer la dépense de vapeur pour chaque coup de piston.

Pour construire les diagrammes des pressions, il est nécessaire de connaître, au préalable, la pression de la vapeur dans le réservoir intermédiaire. Je supposerai d'abord cette pression connue, sauf à indiquer plus tard comment on la détermine dans chaque cas.

Les calculs développés dans les paragraphes suivants s'appliquent au cas d'une vitesse de trois tours par seconde (ce qui correspond, les roues motrices ayant $2^m,114$ de diamètre, à une vitesse de $71^{km},726$ à l'heure), et d'une admission de 40 p. 100 dans le cylindre à haute pression, de 50 p. 100 dans le cylindre à basse pression.

Les phases de la distribution ont été prises dans le relevé établi par le service de la traction de la compagnie du Nord.

2. Exposé général de la méthode.

Les parties les plus importantes d'un diagramme théorique des pressions, celles qu'il est nécessaire de tracer le plus exactement possible, correspondent à la fin de l'admission et à la fin de l'échappement. En effet, de la pression à la fin de l'admission se déduit la courbe de détente, et de la pression à la fin de l'échappement se dé-

(*) Dans le cours de ce Mémoire, j'évalue toujours la pression en kilogrammes absolus, c'est-à-dire comptés à partir du vide.

duit la courbe de compression. Lorsque ces deux courbes sont bien tracées sur un diagramme, celui-ci présente, par ce seul fait, une grande exactitude.

Donc, nous nous attacherons principalement dans ce qui va suivre à étudier, avec toute la précision possible, la période d'admission et la fin de la période d'émission.

En ce qui concerne l'étude de l'admission, on sait que la quantité dont s'accroît, pendant un temps infiniment petit $d\tau$, le poids de vapeur contenue dans le cylindre à un moment quelconque, est égal au poids de vapeur qui s'est écoulé de la boîte du tiroir dans le cylindre pendant le temps $d\tau$, diminué de la quantité de vapeur condensée, $d\varepsilon$, pendant le même temps. Par conséquent, si v est le volume du cylindre, ω la section de la lumière et w la vitesse de la vapeur au temps τ, γ la densité de la vapeur dans le cylindre, γ_1 la densité dans la boîte du tiroir, on a :

$$(v + dv)(\gamma - d\gamma) - v\gamma = \gamma_1 \omega w\, d\tau - d\varepsilon,$$

ou :

$$\gamma dv = v\, d\gamma + \gamma_1 \omega w\, d\tau - d\varepsilon.$$

Cette équation, où γ est l'inconnue et le temps la variable indépendante, ne peut être résolue que par approximations successives.

A cet effet, on néglige d'abord les termes $\frac{d\gamma}{d\tau}$ et $\frac{d\varepsilon}{d\tau}$ qui sont très petits par rapport aux autres (on en étudiera, du reste, l'influence dans le § 4) et il reste alors :

$$\gamma dv = \gamma_1 \omega w\, d\tau.$$

Si on fait :

$$w = \sqrt{2gE}\sqrt{r_1 x_1 \frac{t_1 - t}{T_1}},$$

formule de Zeuner, dans laquelle g est la pesanteur; E, l'équivalent mécanique de la chaleur; r_1, x_1, t_1, $T_1 = 273 + t_1$, la chaleur de vaporisation, la proportion de vapeur sèche et la température de la vapeur dans la boîte du tiroir; t, la température de la vapeur dans le cylindre; si, en outre, on exprime le temps en fonction de l'angle de manivelle, qu'on désigne par n le nombre de tours par seconde, par Ω et C, la section du cylindre et la course du piston, et qu'on pose :

$$K^2 = \frac{T_1}{2gE r_1 x_1},$$

cette équation devient, toutes réductions effectuées :

$$\gamma^2 = \left(\frac{\gamma_1}{\pi n K \Omega C}\frac{\omega}{\sin\alpha}\right)^2 (t_1 - t).$$

Pour chaque valeur déterminée de α, cette équation, qui constitue une relation entre la densité et la température de la vapeur, représente une parabole qu'il est facile de construire; en en prenant l'intersection avec la courbe qui donne γ en fonction de t d'après les tables de la thermodynamique, on obtient la valeur des inconnues γ et t et, par suite, celle de la pression, p.

Ce n'est là qu'une première approximation; mais on verra, dans le paragraphe 4, qu'elle peut être considérée, généralement, comme suffisante.

Tel est le procédé employé pour calculer la partie du diagramme correspondant à la période d'admission.

En ce qui concerne l'échappement, il y a lieu de remarquer que la pression, dans le cylindre, reste constante pendant la plus grande partie de cette période, tant que le tiroir découvre complètement la lumière. On peut donc négliger la variation de γ et on a, simplement :

(A) $$dv = \omega w\, d\tau,$$

d'où on tire la valeur de w. Mais pour déduire de la vitesse w la pression dans le cylindre, il faut savoir

quelle est la pression dans le milieu où se fait l'échappement et, alors il est nécessaire d'examiner au préalable, pour le cylindre à haute pression, ce qui se passe dans le réservoir intermédiaire et, pour le cylindre à basse pression, ce qui se passe dans le tuyau d'échappement.

La pression au réservoir intermédiaire ne peut pas être constante à chaque instant, pendant la durée d'un tour de roue, parce que le total de la vapeur sortant, à chaque instant, des cylindres à haute pression n'est pas égal au total de la vapeur qui passe dans les cylindres à basse pression. La masse de vapeur qui se trouve dans le réservoir, varie donc constamment entre certaines limites, et la pression également. Notons qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de la vitesse de la vapeur dans les tuyaux qui composent le réservoir intermédiaire, parce que cette vitesse est faible (pourvu que lesdits tuyaux aient un diamètre suffisant) et n'influe que d'une façon insignifiante sur la pression, qui est ainsi constante en tous les points du réservoir, à $0^{kg},03$ près dans la machine du Nord.

Ainsi, la pression au réservoir intermédiaire oscille autour d'une valeur moyenne, seule indiquée par les manomètres à cause de la rapidité du phénomène.

Prenons cette valeur moyenne, que nous supposons, pour le moment, connue *a priori*, pour calculer ce qui se passe, pendant la période d'échappement, au cylindre à haute pression. De la pression au réservoir et de la vitesse w, tirée de l'équation (A), on déduit la pression, la température et la densité dans le cylindre. On obtient aussi la masse de vapeur qui se trouve dans le cylindre au moment considéré.

Pour savoir ce qui se passe ensuite, on considère des intervalles de temps égaux, très petits (de $2^o,5$, par exemple, ce qui représente, à la vitesse de trois tours

par seconde, 23/10.000 de seconde). Pour le premier de ces intervalles, on calcule, connaissant γ, ω et w, la quantité de vapeur qui s'écoule. On en déduit celle qui reste à la fin de l'intervalle, et en la divisant par le volume du cylindre on a la densité à l'origine du second intervalle, ainsi que la température et la pression. Alors, comme nous connaissons la pression dans le réservoir (que nous avons supposée constante), on peut obtenir la vitesse de la vapeur pendant le second intervalle et procéder au même calcul que pour le premier. En opérant ainsi, de proche en proche, on obtient tous les éléments nécessaires pour étudier le phénomène de l'émission. On verra plus loin (§ 5) un exemple de ce calcul.

Mais on n'obtient ainsi qu'une première approximation de la valeur de la pression dans le cylindre, puisque l'évaluation est basée sur l'hypothèse erronée que la pression au réservoir est constante.

Pour obtenir des valeurs plus approchées de la pression dans le cylindre, il faut construire la courbe des pressions au réservoir (c'est l'objet du paragraphe 14) et recommencer ensuite l'étude de l'échappement en se basant sur cette courbe.

Je démontrerai, dans le paragraphe 15, que cette méthode d'approximation est absolument rigoureuse, c'est-à-dire qu'elle donne, pour les pressions dans le cylindre, des valeurs de plus en plus approchées.

Pour l'étude de l'échappement au cylindre à basse pression, l'équation (A) donne toujours la vitesse de la vapeur à la lumière; mais pour en déduire la valeur de la pression dans le cylindre, il faut connaître la pression dans le tuyau d'échappement.

Comme on le verra au paragraphe 15, cette pression est constante pendant la plus grande partie de la durée de l'échappement. Par conséquent, la quantité de vapeur qui passe dans l'atmosphère est égale à la somme des

quantités de vapeur qui sortent des deux cylindres. Si γ', ω', w' sont la densité dans le tuyau d'échappement, la section d'échappement et la vitesse de la vapeur dans cette section, $d\mathrm{V}$ et $d\mathrm{V}'$, les variations des volumes des cylindres pendant le temps $d\tau$, on a :

$$\gamma'\omega'w'd\tau = \gamma(d\mathrm{V} + d\mathrm{V}'),$$

ou :

$$\text{(B)} \qquad \gamma'\omega'w' = \gamma\left(\frac{d\mathrm{V}}{d\tau} + \frac{d\mathrm{V}'}{d\tau}\right).$$

L'équation (A) permet de calculer w; de w on déduit la pression p et la densité γ dans le cylindre, en supposant que la pression dans le tuyau d'échappement est égale à celle de l'atmosphère. On obtient ainsi une valeur approchée du second membre de (B), et de cette équation, on tire γ'.

A cet effet, on remarque que les deux inconnues γ' et w' sont fonction d'une même variable, la température t'. Alors l'équation (B) se met sous la forme :

$$\omega' a\sqrt{t' - t_0} = \frac{\gamma}{\gamma'}\left(\frac{d\mathrm{V}}{d\tau} + \frac{d\mathrm{V}'}{d\tau}\right).$$

Dans cette formule, a est une constante, en admettant que le facteur $\frac{r'}{\mathrm{T}'}$ qui entre dans la formule de la vitesse est constant, ce qui est très approximativement vrai, parce que la température, dans le tuyau d'échappement, ne peut varier qu'entre des limites voisines de 100°.

En faisant un changement de variable et posant : $\frac{1}{\gamma'} = y$, on voit que cette équation représente une parabole, dont les coordonnées sont $\frac{1}{\gamma'}$ et $t' - t_0$. En prenant l'intersection de cette parabole avec la courbe qui représente $\frac{1}{\gamma'}$ en fonction de t', courbe facile à construire par

points à l'aide des tables de la thermodynamique, on trouve ainsi la valeur des deux inconnues γ' et t' ou γ' et w'. Connaissant γ', on calcule de nouveau, en partant de la vitesse w, la valeur de γ, qu'on obtient ainsi en deuxième approximation.

Cette méthode de calcul est rigoureuse.

En effet, quand on a déduit de w la température t dans le cylindre, en supposant que dans le tuyau d'échappement règne la température t_0 de l'atmosphère, on a appliqué l'équation :

$$w = a\sqrt{t - t_0}.$$

t_0 étant plus petit que t', on trouve, pour t et, par suite, pour γ, une valeur approchée par défaut. Quand on applique l'équation (B) et qu'on construit la parabole qu'elle représente, le paramètre de cette parabole qui contient γ en dénominateur est approché par excès. On obtient donc par l'intersection de la parabole avec la courbe qui donne $\frac{1}{\gamma'}$ en fonction de t' et qui est voisine d'une droite se rapprochant de l'axe des températures, à mesure qu'elles augmentent, une valeur de t' approchée par défaut.

Quand, dans la seconde approximation, on calcule t d'après la vitesse w, en se basant sur la valeur trouvée pour t', on obtient des valeurs de t et de γ supérieures à celles trouvées en premier lieu et toujours approchées par défaut. Il en est de même pour t'.

Afin de montrer que la méthode conduit au résultat exact, il reste à prouver que les valeurs de t et de t' qui augmentent indéfiniment ont une limite qu'elles ne peuvent dépasser.

Or, en vertu de la première équation qui sert à calculer t, soit :

$$w = a\sqrt{t - t'},$$

on voit que la différence entre t et t' et, par suite, entre γ et γ' est une quantité finie, puisque w est invariable.

On a donc :

$$\gamma - \gamma' = b.$$

D'où :

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = 1 + \frac{b}{\gamma'}.$$

L'équation parabolique qui sert à calculer t' est de la forme, m étant une constante :

$$\sqrt{t' - t_0} = m\frac{\gamma}{\gamma'} = m\left(1 + \frac{b}{\gamma'}\right).$$

Or, si t' et γ' n'avaient pas de limite et pouvaient croître jusqu'à l'infini, le deuxième membre de cette équation tendrait vers une limite finie, tandis que le premier aurait des valeurs de plus en plus grandes ; ce qui est impossible. Par conséquent, t' ne peut pas croître au delà d'une certaine limite et il en est de même de t.

Ainsi, la méthode d'approximation employée conduit au résultat exact.

Il y a une autre manière plus simple (celle que nous appliquerons au paragraphe 7) de calculer les pressions dans le cylindre et dans le réservoir d'échappement. Elle consiste à supposer, en première approximation, dans l'équation (B), $\gamma' = \gamma_0$. On obtient ainsi les valeurs de w' et de t' sans passer par la construction parabolique.

Cette méthode, bien plus rapide que la première, donne une approximation bien suffisante en pratique.

3. Évaluation de la pression sur les tiroirs des cylindres à haute pression.

La pression absolue dans la chaudière étant donnée, la pression sur les tiroirs est toujours plus petite. Il y a donc, entre la chaudière et les boîtes des tiroirs, une dépression qui dépend de la consommation de vapeur, de

l'étranglement de la valve du régulateur et du refroidissement extérieur que subissent la conduite de vapeur ainsi que les boîtes des tiroirs. Cette dernière cause a, en général, peu d'importance, parce que la conduite de vapeur est disposée de façon qu'il y ait le moins possible de refroidissement extérieur et que les boîtes des tiroirs, d'ailleurs entourées d'une enveloppe isolante, ont une surface assez petite. La dépression sur les tiroirs est, à peu de chose près, uniquement due à la vitesse de la vapeur à travers l'ouverture de la valve du régulateur.

Supposons qu'on connaisse, en fonction du temps, la courbe des quantités de vapeur y admises à chaque instant dans les deux cylindres à haute pression. Cette courbe est discontinue si le degré d'admission est inférieur à 50 p. 100.

A un moment quelconque τ, la quantité de vapeur admise pendant un temps infiniment petit $d\tau$ est :

$$y\,d\tau ; \qquad (1)$$

d'autre part, soient :

γ et t, la densité et la température de la vapeur dans la conduite et sur le tiroir ;

γ_1, t_1, r_1 et x_1, la densité, la température, la chaleur de vaporisation et la proportion de vapeur sèche de la vapeur dans la chaudière ;

ω, l'ouverture de la valve du régulateur ;

$w = 91{,}2\sqrt{v_1 x_1 \frac{t_1 - t}{T_1}}$, la vitesse à l'ouverture de cette valve.

La quantité de vapeur qui sort de la chaudière pendant le temps $d\tau$ peut s'écrire :

$$\gamma_1 \omega w\, d\tau. \qquad (2)$$

La différence entre les expressions (2) et (1) représente la variation de la masse de vapeur renfermée entre la valve du régulateur et les cylindres. Si V_0 est le volume

des conduites et des boîtes des tiroirs, on a :

$$(\gamma_1 \omega w - y)\, d\tau = V_0\, d\gamma. \tag{3}$$

Cette équation constitue la relation qui existe entre l'état de la vapeur sur les tiroirs et le temps.

Si nous considérons une révolution complète d'une durée τ_1, la quantité de vapeur qui est sortie de la chaudière doit être égale à celle qui est entrée dans les cylindres. On peut, d'après cela, calculer la pression moyenne sur les tiroirs.

On a, en effet :

$$\int_0^{\tau_1} \gamma_1 \omega w\, d\tau = \int_0^{\tau_1} y\, d\tau.$$

Le second membre de cette équation est supposé connu. Le premier membre, en admettant que la température t soit constante et égale à la température moyenne t_m, d'où il résulte que w est constant et égal à la vitesse moyenne w_m, se réduit à :

$$\gamma_1 \omega w_m \tau_1.$$

On peut alors calculer w_m connaissant ω et inversement.

Supposons, par exemple, que, dans une machine faisant trois tours par seconde, la dépense de vapeur par tour soit : $4 \times 0^{kg},160 = 0^{kg},640$; que la pression dans la chaudière soit de 15 kilogrammes et sur les tiroirs de $14^{kg},6$, et que le degré d'humidité de la vapeur soit de 12 p. 100. Calculons quelle doit être, dans ce cas, l'ouverture de la valve du régulateur.

On a l'équation :

$$\frac{1}{3}\, \gamma_1 \omega w_m = 0{,}640,$$

ou :

$$\frac{1}{3}\, 7{,}47 \times \omega \times 95{,}25 = 0{,}64.$$

D'où :

$$\omega = 0^{m2},0027.$$

Telle doit être la section de la valve, c'est celle d'un tuyau cylindrique ayant $0^m,0586$ de diamètre.

On voit ainsi que, dans les conditions de marche et de pression énoncées plus haut, il est inutile que la conduite d'amenée de vapeur ait un diamètre supérieur à 6 centimètres. On donne, en général, aux conduites de vapeur des diamètres de $0^m,08$ à $0^m,10$, ce qui est plus qu'il n'est nécessaire.

On peut, en étranglant la valve du régulateur, régler, à peu près comme on veut, la pression d'admission dans les cylindres et on peut calculer *a priori* l'effet de l'étranglement pour une marche donnée de la machine. Il est donc toujours possible de connaître théoriquement quelle est la pression moyenne sur les tiroirs.

On pourrait aussi, à l'aide de l'équation (3), se rendre compte des variations de pression sur les tiroirs. Mais ces variations sont faibles et la question ne présente pas grand intérêt.

4. Admission dans les cylindres à haute pression.

Nous supposons que la valve du régulateur est complètement ouverte et que la pression absolue sur les tiroirs est de $14^{kg},6$. Nous allons tracer le diagramme des pressions pendant l'admission.

On sait que, pour obtenir un diagramme approché des densités de la vapeur, il faut construire, pour chaque valeur de l'angle de manivelle α, la parabole représentée par l'équation :

$$\gamma^2 = \left(\frac{\gamma_1}{\pi n \Omega C K} \cdot \frac{\omega}{\sin \alpha} \right)^2 (t_1 - t),$$

et prendre l'intersection de cette parabole avec la courbe

des densités en fonction des températures. Dans l'équation ci-dessus,

γ et t représentent la densité et la température inconnues;
γ_1 et t_1 la densité et la température de la vapeur sur les tiroirs;
n le nombre de tours par seconde;
Ω la section du cylindre;
C la course du piston;
ω l'ouverture du tiroir; il faut, pour connaître ω, tracer la courbe de marche du tiroir;
K un coefficient tel que $K^2 = \frac{T_1}{91,2^2 r_1 x_1}$, T_1, r_1, x_1 étant la température absolue, la chaleur de vaporisation et la proportion de vapeur sèche de la vapeur qui se trouve dans la boîte du tiroir. Nous supposons, d'ailleurs, que cette proportion de vapeur sèche est 0,88.

Il s'agit donc de calculer, pour un certain nombre de valeurs de α, les valeurs du double paramètre :

$$2p = \left(\frac{\gamma_1}{\pi n \Omega C K} \frac{\omega}{\sin \alpha}\right)^2.$$

On a d'abord :

$$K^2 = \frac{T_1}{91,2^2 r_1 x_1} = \frac{469}{91,2^2 \times 467,25 \times 0,88}, \text{ d'où : } \log K = \bar{2},0685756,$$

$$\pi n \Omega C K = 3\pi^2 \frac{0,34^2}{4} \times 0,64 \cdot K, \text{ d'où : } \log \pi n \Omega C K = \bar{3},8070669.$$

Les principaux éléments du calcul de $2p$ pour différentes valeurs de α, sont renfermées dans le tableau suivant :

α	$\gamma_1 \omega$	$\log \gamma_1 \omega$	$-\log \sin \alpha$	$2p$
60°	0,0135954	$\bar{2}$,1333792	0,0624694	5,9919
66°	0,0101965	$\bar{2}$,0084298	0,0392698	3,0288
72° 1/2	0,0048555	$\bar{3}$,6862340	0,0205805	0,6302

Les points a_1, a_2, a_3, , de la *fig.* 1 (Pl. I) représentent

l'intersection de chacune des paraboles avec la courbe des densités. Les valeurs de γ sont :

Pour $\alpha = 60°$ $\gamma = 6,36$
$\alpha = 66°$ $\gamma = 5,818$
$\alpha = 72°,5$ $\gamma = 4,135$

En calculant un nombre suffisant de valeurs de γ, on construit par points la courbe AMB de la *fig.* 2 (Pl. I), où l'axe des abscisses représente le chemin parcouru par le piston. En faisant la quadrature de cette courbe jusqu'à une ordonnée quelconque MP, on a la quantité de vapeur qui a afflué dans le cylindre pendant que le piston est allé de O en P. Il est nécessaire de remarquer qu'en faisant partir la courbe du point A, où la valeur de γ est celle de la densité sur le tiroir, nous supposons qu'à l'origine de la course la densité dans le cylindre est la même que sur le tiroir ; ce qui est, très approximativement, vrai, tant à cause de la compression que de l'avance à l'admission.

La surface OAMB représente la quantité totale de vapeur admise. Cette surface est égale à 49,4. L'axe des abscisses étant à une échelle telle que 10 fois l'unité de longueur (le centimètre) représente une demi-cylindrée, soit $\frac{\pi C D^2}{8} = 0^{m3},029053$, il faut multiplier la surface OAMB par $\frac{1}{10} \frac{\pi C D^2}{8}$.

Ainsi la quantité de vapeur admise, Q, est :

$$Q = \frac{1}{10} \cdot \frac{\pi C D^2}{8} \cdot 49,4 = 0^{kg},143522.$$

En supposant qu'au commencement de la course, la densité dans l'espace neutre du cylindre est la même que sur le tiroir (nous verrons plus loin jusqu'à quel point cela est vrai), la masse de vapeur qui remplit l'espace

neutre est :

$$Q_0 = 0{,}007456 \times 7{,}289 = 0^{kg},054347.$$

La masse totale de vapeur contenue dans le cylindre à la fin de l'admission est donc :

$$Q + Q_0 = 0^{kg},197869.$$

Le volume étant :

$$0{,}007456 + 0{,}8 \times 0{,}029053 = 0{,}030698,$$

la densité, fin admission, est 6,44 ; ce qui correspond à une pression de $12^{kg},9$.

En procédant, pour un point quelconque de la course, comme nous venons de le faire pour la fin de l'admission, nous construisons la courbe AM'B' qui est le diagramme approché des densités réelles de la vapeur dans le cylindre, duquel diagramme on déduit celui des pressions.

Influence des termes correctifs. — Cette courbe AM'B' n'est qu'approchée ; mais elle diffère très peu de la courbe réelle, comme nous allons le voir.

On sait que la relation exacte entre la densité et le temps est :

$$\gamma dv = v d\gamma + \gamma_1 \omega w d\tau - d\varepsilon,$$

ou $d\varepsilon$ est la quantité de vapeur qui se condense pendant le temps $d\tau$.

Si nous divisons par $d\tau$, on a :

$$\gamma \frac{dv}{d\tau} = v \frac{d\gamma}{d\tau} - \frac{d\varepsilon}{d\tau} + \gamma_1 \omega w.$$

Nous pouvons déduire $\frac{d\gamma}{d\tau}$ de la courbe de première approximation AM'B' ; nous pouvons aussi supposer connue la courbe des condensations, que nous construirons plus loin et dont les ordonnées représentent préci-

sément la valeur de $\frac{d\varepsilon}{d\tau}$. Dans l'équation (4), il n'y a donc que γ et w, ou ce qui revient au même, que γ et t qui soient inconnues. Cette équation est celle d'une parabole, de la forme $(\gamma - A)^2 = 2P(t_1 - t)$, dont l'axe est parallèle à Ot (*fig.* 1) et qu'il est facile de construire.

Cherchons, par exemple, la valeur de γ pour $\alpha = 72° 1/2$.

On a :

$$\frac{dv}{d\tau} = \frac{\Omega C}{2} \cdot \sin \alpha \cdot 2\pi n = 0.52233,$$

$$v \frac{\frac{d\gamma}{d\tau}}{\frac{dv}{d\tau}} = v \frac{d\gamma}{dv} = 0{,}212,$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = 0{,}185, \quad \frac{\frac{d\varepsilon}{d\tau}}{\frac{dv}{d\tau}} = 0{,}354.$$

On a donc, pour la valeur du terme correctif A :

$$A = \frac{v \frac{d\gamma}{d\tau} - \frac{d\varepsilon}{d\tau}}{\frac{dv}{d\tau}} = 0{,}212 - 0{,}354 = -0{,}142.$$

L'axe de la parabole $(\gamma - A)^2 = 2P(t_1 - t)$ se trouve au-dessous de l'axe Ot à une distance égale à 0,142. D'ailleurs le double paramètre, qui a été calculé plus haut, est 0,6302. Si nous construisons cette parabole, $O'a'_3$, elle nous donne pour γ la valeur 4,05.

On avait trouvé précédemment 4,135. L'erreur commise était donc : $4{,}135 - 4{,}05 = 0{,}093$, soit 2 p. 100.

Pour $\alpha = 60°$, le terme correctif A est égal à 0,308 ; et la valeur de γ est 6,26. L'erreur commise en première approximation était : $6{,}36 - 6{,}26 = 0{,}1$, soit 1,6 p. 100.

En résumé, l'erreur, nulle au début, augmente jusqu'à la fin de la course d'admission. L'erreur moyenne sur la

durée totale de l'admission est de 1,2 p. 100. Par conséquent le chiffre primitivement trouvé pour le total de vapeur sèche admise, c'est-à-dire $0^{kg}143522$, doit être réduit à $0^{gk},1418$.

On voit que l'erreur est très petite et que le premier calcul approché donne une très grande approximation.

Évaluation a priori *de la dépression entre la boîte du tiroir et le cylindre.* — Cette évaluation peut se faire indépendamment des calculs développés dans les pages précédentes.

On peut admettre qu'au moment où l'ouverture du tiroir est voisine du maximum, la vapeur qui afflue pendant un temps donné, très petit, suffit pour occuper, sans changement de pression dans le cylindre, l'espace engendré par le piston. En partant de là, on peut calculer la pression dans le cylindre.

La quantité de vapeur qui afflue est, pendant le temps $\Delta\tau$:

(5) $$\gamma_1 \omega w \Delta\tau.$$

La quantité de vapeur qui occupe l'espace engendré par le piston est :

(6) $$\gamma \Delta v.$$

Les deux quantités γ_1 et γ étant très peu différentes l'une de l'autre, on a approximativement :

$$\omega w \Delta\tau = \Delta v,$$

d'où :

$$w = \frac{1}{\omega}\frac{\Delta v}{\Delta\tau} = \frac{1}{\omega}\frac{dv}{d}.$$

Pour $\alpha = 25°$ l'ouverture du tiroir est maxima et égale à 12 millimètres. Donc, $\omega = 0{,}26 \times 0{,}012 = 0{,}00312$.

$$\frac{dv}{d\tau} = 0{,}029053 \times \sin 25° \cdot 6\pi = 0{,}231378.$$

Donc :

$$w = 74^{m},1.$$

De la formule de la vitesse, $w = 91{,}2\sqrt{r_1 x_1 \frac{t_1 - t}{T_1}}$, ou t_1 est connu et égal à 196°, on déduit la valeur de t.

$$t = 195°{,}25;$$

ce qui correspond à une pression de $14^{kg},38$ et à une densité de 7,18 dans le cylindre.

Si nous égalons maintenant les deux expressions (5) et (6), en remplaçant γ par 7,18 et γ_1 par 7,289, nous en déduisons :

$$w = \frac{7{,}18}{7{,}289} \cdot \frac{1}{\omega}\frac{dv}{d\tau} = 72{,}988.$$

La nouvelle valeur de t calculée d'après cette vitesse est de 195°,3 et $p = 14^{kg},395$.

La dépression entre la boîte du tiroir et le cylindre, pour $\alpha = 25°$, est donc d'environ $0^{kg},2$.

Si nous faisons le même calcul pour $\alpha = 45°$, nous trouvons que la dépression est $0^{kg},8$.

On voit d'après ce qui précède que le laminage de la vapeur dépend du rapport entre $\frac{dv}{d\tau}$ et ω, ainsi que de la pression d'admission.

5. Période d'échappement des cylindres à haute pression.

Pour étudier la période d'échappement, il est nécessaire de connaître la pression de la vapeur dans le réservoir intermédiaire. Nous supposerons pour le moment que cette pression est connue, sauf à indiquer plus loin comment elle se détermine. Elle n'a pas, du reste, une valeur constante : mais elle oscille, pendant chaque

révolution, entre des limites assez rapprochées, de sorte qu'on peut sans grande erreur n'envisager que la pression moyenne. Nous la supposerons égale à 5 kilogr. absolus.

Nous considérons la période d'échappement proprement dit, c'est-à-dire la course de retour du piston.

Pour construire le diagramme de la pression dans le cylindre pendant l'échappement, il n'est pas nécessaire de calculer ce qui se passe pendant toute la durée de cette période. En effet, pendant la plus grande partie de cette durée, la lumière est ouverte en grand, il n'y a pas de laminage de la vapeur et la pression reste sensiblement constante dans le cylindre. Elle est un peu supérieure à la pression dans le réservoir et il s'agit de la calculer.

Comme la pression dans le cylindre ne varie pas, la quantité de vapeur qui s'écoule est exactement égale à celle qui occupait l'espace engendré par le piston. Cette égalité des quantités entraîne l'égalité des volumes, puisque (comme on le verra plus loin, § 9) la densité qui entre comme facteur dans l'expression du poids de vapeur écoulée est celle de la vapeur qui se trouve dans le cylindre.

On peut donc calculer la pression dans le cylindre par un procédé analogue à celui qui est indiqué à la fin du paragraphe précédent.

Considérons ce qui se passe quand l'angle de manivelle est : $\alpha = -78°$.

En appelant ω la section de la lumière, w la vitesse d'écoulement de la vapeur et dv la variation du volume, on a :

$$\omega w d\tau = dv,$$

d'où :

$$w = \frac{1}{\omega}\frac{dv}{d\tau}.$$

L'ouverture de la lumière étant de 17 millimètres, la section est :

$$\omega = 0{,}00442,$$

$$\frac{dv}{d\tau} = 0{,}029053 \times \sin 78° \times 6\pi = 0{,}53559.$$

Par suite,

$$w = 121^{m},15.$$

La pression dans le réservoir étant supposée égale à 5 kilogrammes, la température est de 151°. La température t dans le cylindre se déduit de l'équation :

$$121{,}15 = 91{,}2\sqrt{rx\frac{t-151}{273+t}}.$$

On peut poser $x = 0{,}95$ parce que, vers la fin de l'échappement, la vapeur tend à devenir sèche. r pourrait être exprimé en fonction de t; mais pour simplifier, nous donnerons à r la valeur de 499,5 correspondant à $t = 151°$; ce que nous pouvons faire sans grande erreur: car la température, dans le cylindre, ne diffère pas beaucoup de celle du réservoir.

On déduit alors de l'équation ci-dessus :

$$t = 152°,6,$$
$$p = 5^{kg},22,$$
$$\gamma = 2{,}772.$$

Pour calculer ce qui se passe à partir du moment où l'angle de manivelle est de 78° jusqu'à la fin de l'échappement, nous diviserons cette période en intervalles de temps égaux, correspondant chacun à un angle de manivelle de 2°,5. Nous connaissons l'état de la vapeur au commencement du premier intervalle, et il est facile d'en déduire l'état de la vapeur pour tous les intervalles suivants. En effet, la quantité de vapeur présente dans le cylindre, pour $\alpha = 78°$, est :

$$V\gamma = (0{,}0074 + 0{,}029053 \times 0{,}7921)\ 2{,}772 = 0^{kg},0844595.$$

La quantité de vapeur qui s'écoule pendant le premier intervalle, l'ouverture moyenne du tiroir étant $0^m,0162$, est :

$$\gamma\omega w\Delta\tau = 2,772 \times 0,26 \times 0,0162 \times 121,15 \times \frac{2°,5}{3 \times 360} = 0^{kg},00327377.$$

D'ailleurs, le volume est :

$$0,0074 + 0,029053\,[1 - \cos(78° - 2°,5)] = 0,029178.$$

La densité est donc :

$$\gamma = \frac{0,08118573}{0,029178} = 2,782.$$

D'où :

$$p = 5^{kg},247, \quad t = 152,8.$$

On procède de la même façon pour tous les intervalles suivants. Je donne ci-dessous le tableau qui résume ces calculs :

OUVERTURE du tiroir	VITESSE d'écoulement	MASSE de vapeur écoulée	MASSE de vapeur restant dans le cylindre	VOLUME du cylindre	DENSITÉ	PRESSION	TEMPÉRATURE
mèt.	mèt.	kilogr.	kilogr.	m. cub.		kilogr.	degrés
0,0162	121,15	0,00327377	0,08118573	0,029178	2,782	5,247	152,8
0,0145	129	0,00313386	0,07805187	0,027956	2,790	5,274	153,0
0,013	136	0,0029695	0,07508237	0,0267548	2,806	5,285	153,1
0,011	140	0,0026014	0,07248097	0,025569	2,834	5,340	153,5
0,009	152	0,0023349	0,070146	0,024405	2,874	5,415	154,0
0,007	166,3	0,00201405	0,06813195	0,023263	2,928	5,530	154,8
0,005	186,9	0,00164719	0,06648476	0,022159	3,000	5,670	155,8
0,003	209,6	0,00113561	0,06534915	0,021057	3,100	5,886	157,2
0,001	237,5	0,00035413	0,06499502	0,0202065	3,216	6,100	158,6

On voit, d'après ce tableau, qu'il y a dans le cylindre à la fin de l'échappement compression anticipée de la vapeur. C'est ce phénomène, très important au point de vue de la construction des diagrammes, que j'ai voulu surtout mettre en lumière. Tandis que la pression moyenne dans le cylindre, pendant que l'échappement se fait sans laminage, est de $5^{kg},24$, la pression atteint $6^{kg},1$ à la fin de l'échappement et le rapport des densités de la

vapeur dans le cylindre et dans le réservoir passe de 1,044 à 1,207.

Le calcul du tableau-ci-dessus se fait rapidement si on construit, au préalable, un abaque des vitesses d'écoulement sur lequel il est facile de lire les valeurs de la vitesse pour des valeurs quelconques des températures, t_1 et t_2, dans le cylindre et dans le réservoir.

6. Période d'admission dans les cylindres à basse pression.

L'étude de l'admission dans les cylindres à basse pression est la même que pour les cylindres à haute pression.

Le degré d'admission est de 50 p. 100 et on suppose que la pression moyenne de la vapeur sur les tiroirs est de 5 kilogrammes absolus.

Il faut calculer les paramètres des paraboles à construire, c'est-à-dire

$$p = \frac{1}{2}\left(\frac{\gamma_1}{\pi n \Omega C K}\,\frac{\omega}{\sin\alpha}\right)^2.$$

On a :

$$K^2 = \frac{424}{\overline{91,2}^2 \times 0,88 \times 500}. \quad \text{D'où : } \log K = \bar{2},0319618.$$

$$\pi n \Omega C K = 3\pi \cdot \frac{\pi \cdot \overline{0,53}^2}{4} \cdot 0,64 \cdot K. \quad \text{D'où : } -\log \pi n \Omega C K = 1,8439411.$$

Pour des angles de manivelle de 66° et de 78°, les éléments du calcul de p sont contenus dans le tableau suivant :

α	$\gamma_1\omega$	$\log\gamma_1\omega$	$-\log\sin\alpha$	$2p$	$\frac{p}{2}$	γ
66°	0,0085245	$\bar{3}$,9306689	0,0392698	0,42438	0,106	2,037
78°	0,0042622	$\bar{3}$,6296338	0,0095956	0,092543	0,0231	1,44

La dernière colonne donne les valeurs de γ obtenues

par l'intersection de chaque parabole avec la courbe des densités en fonction des températures.

En construisant la courbe des valeurs de γ et en prenant la surface comprise entre cette courbe et les axes, on trouve que la quantité totale de vapeur admise est de $0^{kg},1362661$.

Comme on l'a vu plus haut, ce résultat est exact à 2 grammes près.

La densité de la vapeur à la fin de l'admission est de 2,022 et la pression $3^{kg},72$.

7. Période d'échappement des cylindres à basse pression.

L'échappement des cylindres à basse pression est un peu plus compliqué que celui des cylindres à haute pression. Tandis que, dans ces derniers, la vapeur passe simplement dans le réservoir intermédiaire, dans les premiers la vapeur passe dans le tuyau d'échappement et, de là, dans la cheminée et dans l'atmosphère. Cela produit plusieurs modifications successives de l'état de la vapeur.

La pression dans le tuyau d'échappement est variable ; elle peut se calculer approximativement si on connaît la quantité de vapeur qui sort du cylindre et celle qui est évacuée dans l'atmosphère.

Nous nous bornerons à étudier en détail ce qui se passe à la fin de l'échappement, au moment où commence à se produire la compression anticipée.

Pendant la plus grande partie de la course de retour du piston, la pression reste sensiblement constante dans le cylindre et, par suite, la quantité de vapeur évacuée pendant un temps donné est égale à celle qui occupait le volume engendré par le piston pendant le même temps. Cette égalité des poids entraîne l'égalité des volumes,

comme nous l'avons expliqué au paragraphe 5. Soient ω la section de la lumière, w la vitesse de la vapeur, ΔV l'espace engendré par le piston pendant le temps $\Delta\tau$, on a :

$$\omega w \Delta\tau = \Delta V;$$

d'où :

$$(7) \qquad w = \frac{1}{\omega}\frac{\Delta V}{\Delta\tau} = \frac{1}{\varpi}\frac{dV}{d\tau}.$$

Cette équation permet de calculer la vitesse de la vapeur aux lumières des cylindres.

Lorsque la pression reste constante dans chacun des cylindres, elle l'est également dans le tuyau d'échappement. Dès lors, la quantité de vapeur qui passe dans l'atmosphère est égale à la somme des quantités de vapeur qui sortent des deux cylindres. Si γ', ω', w' sont la densité dans le tuyau d'échappement, la section d'échappement, et la vitesse de la vapeur dans cette section, dV et dV', les variations des volumes des cylindres pendant le temps $d\tau$, on a :

$$\gamma' \varpi' w' d\tau = \gamma (dV + dV'),$$

ou :

$$(8) \qquad \gamma' \omega' w' = \gamma \left(\frac{dV}{d\tau} + \frac{dV'}{d\tau}\right).$$

D'ailleurs, les manivelles étant calées à 90° l'une de l'autre, on a (la vitesse étant de trois tours par seconde, d'où $\frac{d\alpha}{d\tau} = 6\pi$) :

$$\frac{dV}{d\tau} = 3\pi\Omega C \sin\alpha,$$

$$\frac{dV'}{d\tau} = 3\pi\Omega C \cos\alpha.$$

L'équation (7) permet de calculer w et l'équation (8) γ' et w' par approximations successives. A cet effet, on tire w de l'équation (7) ; de w, on déduit p, t et γ, en supposant que la pression dans le tuyau d'échappement est

égale à celle de l'atmosphère. On connaît ainsi le second membre de l'équation (8) et on en déduit w' en première approximation. Les détails du calcul sont les suivants quand on considère un angle de manivelle de 72°,5.

On a alors :

$$\omega = 0^{m},4 \times 0^{m},019 = 0,0076,$$

$$\frac{dv}{d\tau} = 6\pi \cdot \frac{\Omega C}{2} \sin\alpha = 6\pi \times 0,070598 \cdot \sin 75°,5 = 1,28816.$$

L'équation (7) donne :

$$w = \frac{1}{\varpi}\frac{dv}{d\tau} = \frac{1,28816}{0,0076} = 170 \text{ mètres.}$$

En supposant que la pression dans le tuyau d'échappement est celle de l'atmosphère, on déduit de cette valeur de w :

$$t = 102°,5, \qquad \gamma = 0,658.$$

Appliquons maintenant l'équation (8) en supposant que la section de l'échappement est : $\omega' = 0^{m2},012$.

On a :

$$0,606 \times 0,012 \times w' = 0,658\left(\frac{dV}{d\tau} + \frac{dV'}{d\tau}\right) = 0,658(1,28816 + 0,33307);$$

d'où :

$$w' = 146^{m},7.$$

On déduit de cette valeur de la vitesse que la température dans le tuyau d'échappement est de 101°,9 ; d'où : $\gamma' = 0,645$.

Sachant d'autre part, d'après l'équation (7), que la vitesse de la vapeur passant du cylindre dans un milieu où la température est 101°,9, est de 170 mètres, on trouve, en deuxième approximation, que la température dans le cylindre est de 104°,45. D'où : $\gamma = 0,702$.

En appliquant de nouveau l'équation (8), on a :

$$0,645 \times 0,012 \times w' = 0,702\left(\frac{dV}{d\tau} + \frac{dV'}{d\tau}\right).$$

d'où :

$$w' = 147 \text{ mètres.}$$

On trouve donc, pour w', à peu près la même valeur que plus haut. La conclusion à en tirer, c'est que la première approximation est suffisante.

La pression dans le tuyau d'échappement est $1^{kg},1$ et la pression dans les cylindres est $1^{kg},21$.

Lorsque la fin de l'échappement sur l'une des faces du piston correspond, à peu de chose près, au début de l'échappement anticipé sur l'autre face du piston (cas dans lequel nous nous trouvons), et que la vitesse est suffisamment grande, on peut admettre que la pression dans le tuyau d'échappement varie très peu à la fin de l'émission, et on peut calculer, de proche en proche, la compression anticipée, comme nous l'avons fait au paragraphe 4, en supposant constante la pression dans le tuyau d'échappement.

En considérant des angles de manivelle successifs variant de 2°,5 en 2°,5, les détails du calcul sont résumés dans le tableau suivant :

ANGLES de manivelle	OUVERTURE du tiroir	VITESSE	MASSE de vapeur écoulée	MASSE de vapeur restant dans le cylindre	VOLUME du cylindre	DENSITÉ	PRESSION	TEMPÉRATURE
degrés	mèt.	mèt.	kilogr.	kilogr.	m. cub.		kilogr.	degrés
75 1/2	0,019	170	»	0,0427658	0,06092	0,702	1,21	104,45
73	0,0175	170	0,0019338	0,040832	0,057957	0,703	»	104,5
70 1/2	0,016	173,45	0,0018092	0,0390228	0,055032	0,709	»	104,8
68	0,014	179,8	0,00165194	0,0373678	0,052152	0,716	»	105,0
65 1/2	0,012	185,8	0,0014227	0,0359451	0,049321	0,730	»	105,6
63	0,010	202,6	0,00136953	0,0345756	0,046546	0,743	»	106,2
60 1/2	0,008	218,3	0,00120457	0,033374	0,043835	0,761	»	107,0
58	0,006	237,5	0,00100415	0,0323699	0,041188	0,786	»	108,0
55 1/2	0,001	259,5	0,0007555	0,0316144	0,0386113	0,819	1,423	109,2
53	0,0025	282,8	0,00053615	0,0310782	0,036112	0,860	1,500	110,8
51	0,001	311,5	0,00019824	0,03088	0,03417	0,903	1,5844	112,4

La période d'échappement finit pour un angle de manivelle de 51°. La dernière ligne du tableau précédent nous

donne, à ce moment, l'état de la vapeur dans le cylindre. La pression est de $1^{kg},5844$ et la densité de 0,903. Le rapport de la densité dans le cylindre, fin échappement, à la densité de la vapeur à 100° est : $\frac{0,903}{0,606} = 1,49$.

Il est nécessaire de remarquer que tout le calcul ci-dessus dépend de la section d'échappement que nous avons supposée égale à $0^{m^2},0120$. En pratique cette section est souvent plus petite. Elle varie de 0,0080 (et même de 0,0060) à 0,0150. Il est clair que plus la section d'échappement est faible, plus la contrepression est élevée dans les cylindres.

8. Construction des diagrammes de pression.

Les résultats obtenus dans les quatre paragraphes précédents nous permettent de construire les diagrammes approchés des pressions dans les cylindres à haute et à basse pression. On a calculé les parties de ces diagrammes qui correspondent à l'admission et à l'échappement. On trace les parties correspondant à la détente et à la compression en supposant que la masse de vapeur reste constante. Cela est très approximativement vrai pour la détente, car les condensations de vapeur et les revaporisations s'équilibrent à peu près et sont, d'ailleurs, peu importantes. Cela n'est pas exact pour la compression, car pendant cette période il se produit une condensation de vapeur assez importante. Aussi la partie des diagrammes correspondant à la compression devra-t-elle être ultérieurement rectifiée. Ces diagrammes, ainsi construits, sont suffisamment approchés pour pouvoir servir au calcul des échanges de chaleur entre la vapeur et les parois métalliques.

9. Digression sur les formules d'écoulement de la vapeur.

On a dû remarquer que, dans les calculs décrits dans les paragraphes précédents, je me sers de la formule dite de Zeuner, donnant la vitesse d'écoulement de la vapeur; mais que j'ai modifié la formule du débit puisque, pour avoir la quantité de vapeur écoulée, je multiplie toujours la vitesse par la densité du milieu amont et non par celle du milieu aval, comme le voudrait la formule de Zeuner donnant le débit.

Il me paraît indispensable d'expliquer pourquoi je procède de cette façon.

Je rappellerai d'abord en quoi consiste la formule de Zeuner et les justes critiques qu'elle a soulevées.

Zeuner a démontré que, lorsque l'écoulement de la vapeur est adiabatique (ce qu'on peut admettre quand cet écoulement a lieu assez vite), la vitesse est donnée par la formule suivante :

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{1}{A}\left[r_1 x_1 \left(\frac{t_1 - t_2}{T_1}\right) + c\,(t_1 - t_2) - c\,T_2 \log \frac{T_1}{T_2}\right],$$

qui n'est autre chose qu'une transformation de l'équation générale de l'écoulement d'un fluide, à savoir :

$$\frac{w^2}{2g} = -\int_{p_1}^{p_2} v\,dp.$$

Dans cette formule :

w est la vitesse d'écoulement;

t_1 et $T_1 = 273 + t_1$, la température de la vapeur en amont de l'orifice;

t_2 et $T_2 = 273 + t_2$, la température du milieu aval dans lequel s'écoule la vapeur;

r_1 et x_1, la chaleur de vaporisation et la proportion de vapeur sèche de la vapeur à température t_1;

c, la chaleur spécifique de l'eau;

A, l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Si, dans l'équation ci-dessus, on néglige le terme :

$$\frac{c}{A}\left[(t_1 - t_2) - T_2 \log \frac{T_1}{T_2}\right],$$

de peu d'importance en pratique, elle se réduit à :

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{r_1 x_1 (t_1 - t_2)}{A T_1},$$

ou :

$$w = \sqrt{\frac{2g}{A}} \sqrt{r_1 x_1 \frac{t_1 - t_2}{T_1}} = 91{,}2 \sqrt{v_1 x_1 \frac{t_1 - t_2}{T_1}}.$$

C'est cette formule que nous avons toujours appliquée jusqu'ici.

Pour avoir le débit, Zeuner multiplie la vitesse par la section de l'orifice et par la densité du milieu aval, égale à l'inverse du volume spécifique, c'est-à-dire à :

$$\frac{1}{x_2 u_2 + \sigma},$$

x_2 étant la proportion de vapeur sèche, u_2 l'augmentation de volume de 1 kilogramme d'eau lorsqu'il se transforme en vapeur saturée à la température t_2, et σ le volume spécifique de l'eau.

Par conséquent, la formule de débit de Zeuner est, Ω étant la section de l'orifice :

$$m = \frac{\Omega w}{x_2 u_2 + \sigma}.$$

Cette formule du débit n'est pas vérifiée par les résultats de l'expérience. Plusieurs auteurs ont justement fait remarquer qu'elle donne des débits beaucoup trop faibles et en ont conclu qu'elle était fausse. Par conséquent, ce qu'il y aurait de mieux à faire, quand on veut calculer un débit, serait, semble-t-il, de s'en tenir à la formule empirique obtenue par analogie avec l'équation de l'hydraulique, $v = \sqrt{2gh}$. Mais cette formule empirique ne donne

correctement que le débit ; toutes les autres conséquences qu'on pourrait en tirer et, en particulier, la valeur de la vitesse du fluide n'ont aucune signification.

En examinant de près les formules de Zeuner, il est facile de s'assurer que, si la formule du débit est inexacte, celle de la vitesse est rigoureuse (étant entendu que l'écoulement se fait sans perte ni gain de chaleur).

En effet, Hirn a fait remarquer (Voir : *Explication d'un paradoxe apparent d'hydrodynamique*, par Hirn) que la formule de l'hydraulique, $v = \sqrt{2gh}$, est exacte même quand il n'y a pas parallélisme des tranches. Il en est de même de l'équation générale de l'écoulement d'un fluide :

$$\frac{w^2}{2g} = -\int_{p_1}^{p_2} v\,dp.$$

Elle est indépendante de l'hypothèse du parallélisme des tranches et repose uniquement sur le principe de la conservation de l'énergie, comme le prouve la démonstration suivante. Considérons l'unité de poids d'un mélange de vapeur et d'eau s'écoulant d'un récipient où la pression est p_1 dans un milieu où la pression est p_2.

Le fluide qui s'écoule reçoit un travail d'impulsion, $p_1 v_1$, et effectue pour entrer dans le milieu aval un travail, $p_2 v_2$. En outre, si on lui communique, pendant l'écoulement, une quantité de chaleur Q, son énergie est augmentée de $\frac{Q}{A}$. L'énergie totale gagnée par le fluide, à son entrée dans le milieu aval, c'est-à-dire au moment où la pression devient égale à p_2 dans toutes les parties de la veine, est :

$$\frac{Q}{A} + p_1 v_1 - p_2 v_2.$$

Or, à ce moment, la force vive est $\frac{w^2}{2g}$ et la variation de l'énergie interne $U_2 - U_1$. La somme $\frac{w^2}{2g} + U_2 - U_1$

est égale à l'expression ci-dessus en vertu de l'équation des forces vives, et on a :

$$\frac{w^2}{2g} + u_2 - u_1 = \frac{Q}{A} + p_1 v_1 - p_2 v_2.$$

La chaleur $\frac{Q}{A}$ est équivalente à la somme de l'accroissement $(U_2 - U_1)$ du travail interne et du travail $\int_{v_1}^{v_2} p dv$, accompli par le fluide en passant de l'état $p_1 v_1$ à l'état $p_2 v_2$, c'est-à-dire que l'on a :

$$\frac{Q}{A} = u_2 - u_1 + \int_{v_1}^{v_2} p dv ;$$

d'où, en intégrant par parties :

$$\frac{Q}{A} = u_2 - u_1 + p_1 v_1 - p_2 v_2 - \int_{p_1}^{p_2} v dp.$$

Remplaçant $\frac{Q}{A}$ par cette valeur dans l'équation des forces vives, il vient :

$$\frac{w^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp.$$

Pour que la démonstration ci-dessus ne fût pas exacte et, par suite, pour que l'hypothèse du parallélisme des tranches fût indispensable, il faudrait que, lorsque les particules de la veine atteignent la pression p_2, leurs vitesses fussent différentes de l'une à l'autre. Dans ce cas, la force vive ne pourrait plus s'écrire $\frac{w^2}{2g}$, ce qui n'aurait aucun sens, mais $\frac{1}{p} \sum \frac{u^2}{2g}$, où u serait la vitesse d'une molécule quelconque et p le nombre de molécules contenues dans l'unité de poids. Or, dans la veine fluide, toutes les molécules de même densité, de même pression et de même vitesse forment une surface, normale au

faisceau des filets gazeux. Il en est ainsi jusqu'à ce que la pression dans la veine atteigne celle du milieu aval, moment où la surface normale aux filets se rompt. Sur cette surface limite, la vitesse de toutes les molécules est la même et c'est la vitesse d'écoulement w.

Cette surface n'est pas plane si les filets ne sont pas parallèles. C'est sur elle que se mesure la vitesse ; c'est elle également qui doit entrer dans la formule du débit.

Si ω est son étendue, le débit sera, γ_2 étant la densité du milieu aval :

$$m = \gamma_2 \omega w,$$

tandis que la formule de Zeuner est, Ω étant la section de l'orifice percé dans le récipient :

$$m = \gamma_2 \Omega w.$$

Toutes les mesures de débit effectuées jusqu'ici s'accordent pour démontrer que la formule de Zeuner donne des débits beaucoup trop faibles. Il faut en conclure que la surface ω est plus grande que la section Ω. Donc, lorsque la pression de la veine atteint celle du milieu aval, la veine s'est dilatée. Cette conclusion est formelle, qu'il y ait ou non sur le trajet de la veine une section contractée.

Dans ses *recherches expérimentales sur la limite de vitesse que prend un gaz quand il passe d'une pression à une autre plus faible*, Hirn démontre, d'une façon irréfutable, en se basant sur le principe de la conservation de l'énergie, la formule de la vitesse pour les gaz. Il déclare ensuite que cette formule reçoit un démenti formel de ses expériences, chose qu'il ne s'explique pas, mais qui tient, croyons-nous, d'après les raisonnements de Hirn lui-même, à ce qu'il a mesuré la vitesse en un point de la veine et le débit à un autre point. Il est clair que les résultats ne pouvaient être d'accord, mais il n'est nullement prouvé que la formule de la vitesse soit fausse.

En définitive, la formule théorique du débit des vapeurs est :

$$m = \gamma_2 \omega w = \lambda \gamma_2 \Omega w,$$

dans laquelle λ est un coefficient inconnu, plus grand que l'unité.

Pour déterminer λ, j'ai cherché à appliquer cette formule à l'écoulement de la vapeur dans les cylindres des machines. Je me suis servi, à cet effet, des diagrammes pris à l'indicateur dans les cylindres à haute pression d'une machine compound et j'ai considéré, de préférence, la partie des diagrammes correspondant à l'échappement. Il y a, à cela, cet avantage qu'on ne rencontre nulle autre part, c'est que l'écoulement se fait d'un milieu, le cylindre, où la pression est très exactement connue, dans un autre milieu, le réservoir intermédiaire, où la pression peut aussi être connue avec beaucoup d'exactitude, comme je le démontrerai dans un des paragraphes suivants (§ 13). De cette façon, le calcul de la vitesse w est très rigoureux.

Il est nécessaire de remarquer que, dans les cylindres des machines, l'écoulement de la vapeur s'effectue toujours (sauf au début de l'avance à l'échappement) sous de faibles différences de pressions. Aussi l'identification, que nous allons faire, de la formule avec les résultats de l'expérience n'est-elle valable, bien entendu, que pour ce cas.

Dans la *fig.* 3 (Pl. I), la courbe mc représente une portion d'un diagramme des pressions dans le cylindre à haute pression de la locomotive compound du Nord (c'est le diagramme n° 13 de la Pl. 37, *Revue générale des chemins de fer :* la nouvelle locomotive compound du Nord, par M. du Bousquet). La courbe $m'c'$ représente la courbe des pressions dans le réservoir intermédiaire. Étant donné la courbe mc, on peut calculer, à chaque instant, la quantité de vapeur qui se trouve dans le cylindre. Ainsi la quantité de vapeur écoulée pendant que le piston parcourt le chemin mc se calcule comme suit :

Quantité de vapeur présente dans le cylindre en m :

$$\left(0{,}8\,\frac{\pi CD^2}{8} + 0{,}0074\right) 2{,}87 = 0^{kg},08793.$$

Quantité de vapeur en c :

$$\left(0{,}44\,.\,\frac{\pi CD^2}{8} + 0{,}0074\right) 3{,}134 = 0{,}0632535.$$

Quantité de vapeur écoulée (c'est la différence entre les nombres ci-dessus) :

$$0^{kg},0246765.$$

Cherchons maintenant la quantité de vapeur écoulée en appliquant les formules de Zeuner.

La vapeur s'écoulant dans un milieu où la pression varie, comme l'indique la courbe $m'c'$, on connaît à chaque instant la différence des pressions ou des températures $t_1 - t_2$, entre la vapeur du cylindre et celle du réservoir et on peut calculer la vitesse d'écoulement par la formule :

$$w = 91{,}2\sqrt{r_1 x_1 \frac{t_1 - t_2}{T_1}}.$$

On sait d'ailleurs qu'à la fin de l'échappement la vapeur est à peu près sèche ; par suite, on peut poser $x_1 = 1$.

Si on appelle Ω la section de la lumière d'échappement quand le piston est dans une position quelconque, P, la quantité de vapeur qui s'écoule, pendant le temps infiniment petit, dt, est :

$$d\varepsilon = \lambda \gamma_2 \Omega w\, dt.$$

Comme on l'a vu plus haut, dans cette formule, λ est plus grand que 1.

Posons :

$$\lambda \gamma_2 = \lambda' \gamma_1,$$

γ_1 étant la densité dans le cylindre, λ' est un nouveau coefficient inconnu, et nous allons démontrer que, dans l'exemple choisi, on peut admettre que λ' est égal à l'unité. A cet effet, nous allons vérifier qu'en posant $\lambda' = 1$ le débit donné par la formule est égal au débit réel.

Nous avons donc pour le débit élémentaire :

$$d\varepsilon = \gamma_1 \omega w dt.$$

Pour avoir le débit total, il suffit de calculer $\int \gamma_1 \Omega w dt$ entre les limites données, c'est-à-dire quand le piston parcourt le chemin MC. A cet effet, il faut construire, en prenant le temps pour abscisses, une courbe dont les ordonnées seront : $y = \gamma_1 \Omega w$. On connaît, à chaque instant, l'ouverture du tiroir et par suite Ω; γ_1 se déduit du diagramme *mc* à l'aide des tables de la thermodynamique et w se calcule d'après la formule de Zeuner.

Nous donnons ci-après quelques-unes des valeurs de y :

Angle de manivelle.	Valeurs de y.
78°	0,168
66°	0,11
60°	0,06

On construit ainsi la courbe E*m* E*c*. En en faisant la quadrature, on trouve que la masse de vapeur écoulée est :

$0^{kg},0236865.$

Nous avons vu plus haut qu'elle est, en réalité :

$0^{kg},0246765.$

Cherchons maintenant, par le même procédé, quel est le résultat que donne la formule de débit de Zeuner, c'est-à-dire :

$$d\varepsilon = \gamma_2 \Omega w dt.$$

On construit comme plus haut la courbe E*m* E*c* et on

trouve, en en faisant la quadrature, que la masse écoulée serait :

$0^{kg},021714.$

Cette dernière quantité est beaucoup moins approchée de la réalité que celle que nous avions d'abord trouvée.

En opérant sur un grand nombre de diagrammes, j'ai toujours remarqué que, pour obtenir des résultats conformes à la réalité, il fallait faire entrer dans la formule du débit la densité du milieu amont et non celle du milieu aval. On peut en conclure que, pour de faibles différences de pressions, la dilatation du jet de vapeur est en raison inverse des densités.

Nous arrivons à la même conclusion, si nous identifions la formule :

$$m = \gamma_1 \Omega w$$

avec la formule de débit qu'a donnée récemment M. Parenty, directeur des manufactures de l'État (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CXVI, p. 1120). La formule de M. Parenty a été vérifiée par son auteur et comparée avec tous les résultats expérimentaux connus jusqu'ici; elle donne des résultats entièrement conformes aux expériences.

Cette formule est la suivante :

$$\Pi = m_1 \omega \pi_0 \rho_1^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{2 g E C T_0 (1 - \rho_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}})}.$$

Π est le débit;

m_1 est un coefficient égal à 1,04 pour un orifice convergent (c'est le cas des lumières découvertes par les tiroirs);

ω, la section de l'orifice;

π_0, la densité de la vapeur à la pression d'amont, p_0;

$\rho_1 = \frac{p_1}{p_0}$, rapport de la pression aval à la pression amont;

$\gamma = \frac{c}{C}$, le rapport des coefficients spécifiques à volume constant, c, et à pression constante, C;

E, équivalent mécanique égal à 425;

T_0, température absolue d'amont.

Pour la vapeur d'eau, $c = 0{,}3337$, $C = 0{,}475$, $\gamma = \frac{c}{C} = 0{,}7025$.

Le tableau ci-dessous permet de comparer les résultats donnés par la formule Parenty et ceux donnés par la formule $m = \gamma_1 \Omega w$.

ANGLES de manivelle	VALEURS DONNÉES par la formule de Zeuner modifiée	VALEURS DONNÉES par la formule Parenty
78°	0,168	0,1694
66°	0,11	0,1082
60°	0,06	0,0580

On voit que les deux formules donnent des chiffres à peu près identiques.

La formule de débit, $m = \gamma_1 \Omega w$, est donc exacte pour de faibles différences de pressions.

CHAPITRE II.

ÉCHANGES DE CHALEUR ENTRE LA VAPEUR, LES PAROIS MÉTALLIQUES ET L'EXTÉRIEUR.

10. Évaluation du refroidissement extérieur.

Il est assez facile de déterminer expérimentalement le rayonnement extérieur d'un cylindre de machine fixe. Il suffit, pour cela, après avoir calé le piston près d'un point mort, de faire arriver dans le cylindre la vapeur de la chaudière. A la fin de l'expérience, on recueille et on pèse l'eau de condensation dont la chaleur de vaporisation représente la quantité de chaleur rayonnée vers

l'extérieur pendant la durée de l'expérience. On obtient ainsi la valeur du rayonnement pendant un temps donné et pour une différence de températures connue entre l'intérieur du cylindre et l'extérieur. On en déduit (en supposant que la loi de Newton est exacte, ce qui n'est qu'approximatif) le coefficient de rayonnement par unité de temps et pour un degré de différence de températures.

Quand une machine fonctionne, la température moyenne des parois du cylindre est bien inférieure à celle de la vapeur de la chaudière (elle lui était égale dans l'expérience ci-dessus). Mais cette température moyenne des parois se détermine sans difficulté et, à l'aide du coefficient de rayonnement déterminé expérimentalement comme nous venons de le dire, on peut trouver la valeur du refroidissement extérieur.

Cette méthode a été suivie par Hirn et par les expérimentateurs de son école. Elle n'a été appliquée qu'à des machines fixes où l'air ambiant peut être considéré comme étant au repos.

En ce qui concerne les locomotives en marche, l'air ambiant est agité et les cylindres s'y déplacent avec une vitesse plus ou moins grande, ce qui doit augmenter considérablement le refroidissement. Il ne serait pas impossible de déterminer expérimentalement, comme pour les machines fixes, le coefficient de refroidissement. Mais aucune expérience de ce genre n'a jamais été faite et on ne connaît pas même approximativement la valeur du refroidissement extérieur des cylindres de locomotive.

Des expériences sur le refroidissement d'un tuyau en contact, d'un côté avec de la vapeur, de l'autre avec de l'air animé d'une certaine vitesse, ont été faites par M. Ser (voir le *Traité de Physique industrielle* de cet auteur). Il résulte des expériences effectuées sur des tuyaux de petit diamètre ($0^m,01$ à $0^m,05$) que la loi de

Newton est vraie quelles que soient les différences de températures. En effet, pour des excès de températures qui ont varié de 19°,6 à 66°,9, le coefficient de convection ou de refroidissement est resté constant. Il varie avec la vitesse de l'air et le diamètre du tuyau.

M. Ser a aussi fait des expériences sur un tuyau de $0^m,20$ de diamètre, rempli de vapeur, le long duquel circule de l'air dont la vitesse varie de 1 à 6 mètres par seconde.

Si on appelle :

M, la quantité de chaleur perdue pendant l'unité de temps;
S, la surface du tuyau;
K, le coefficient de refroidissement;
$\frac{t_1 + t_0}{2}$, la moyenne des températures du tuyau à l'une et à l'autre extrémité;
$\frac{\theta_1 + \theta_0}{2}$, la moyenne des températures de l'air à l'une et à l'autre extrémité;

on a :

$$M = KS\left(\frac{t_1 + t_0}{2} - \frac{\theta_1 + \theta_0}{2}\right).$$

C'est d'après cette formule que M. Ser a déterminé les valeurs de K. Les résultats obtenus montrent que ce coefficient est proportionnel à la racine carrée de la vitesse pour un même tuyau et un même excès de température. D'ailleurs, pour une même vitesse de l'air, K varie avec le diamètre du tuyau et avec les différences de températures. La loi de Newton n'est pas applicable.

J'ai représenté les résultats obtenus par M. Ser par les courbes des *fig.* 4 et 5 (Pl. I). La *fig.* 4 donne les valeurs de K en fonction des diamètres des tuyaux; la *fig.* 5 les donne en fonction des vitesses de l'air. Il est logique de supposer que, pour des vitesses de l'air, des excès de températures et des diamètres de tuyaux différents, on obtiendrait des courbes analogues à celles déduites des résultats de l'expérience et, grâce à ces derniers, il est facile de déterminer ces courbes.

Cherchons, par exemple, les valeurs de K en fonction de la vitesse de l'air v pour un tuyau de $0^m,20$ et des excès de températures de 65 à 75°. M. Ser a trouvé que, pour de tels excès de températures, on a :

$$\frac{K}{\sqrt{v}} = 19,4.$$

D'où :

$$K^2 = \overline{19,4}^2 v.$$

Cette équation représente une parabole dont le paramètre est :

$$\frac{\overline{19,4}^2}{2} = 188,18.$$

On a :

$$K^2 = 2 \times 188,18 \cdot v,$$

ou en divisant par 100,

$$\left(\frac{K}{10}\right)^2 = 2 \times 1,88 \cdot v.$$

En posant : $k' = \frac{k}{10}$, le paramètre n'est plus que 1,88 et il est facile de construire cette parabole, désignée par λ_1 sur la *fig.* 5.

Pour des excès de températures de 120°, on a :

$$\frac{K}{\sqrt{v}} = 22,5, \quad \text{ou :} \quad K^2 = \overline{22,5}^2 \cdot v.$$

D'où on déduit la parabole λ_2.

Cherchons ces mêmes courbes pour un tuyau de $0^m,50$.

D'après la *fig.* 4, on peut admettre que le coefficient de convection pour un tuyau de $0^m,50$, $v = 4$ et un excès de températures de 70° est égal à 44. On a alors :

$$\frac{K}{\sqrt{v}} = \frac{44}{\sqrt{4}} = 22.$$

Pour un excès de températures de 120° au lieu de 70°, la valeur de $\frac{k}{\sqrt{v}}$ est, non plus 22, mais 25. La parabole λ_3 représente la courbe dont l'équation est :

$$\frac{K}{\sqrt{v}} = 25, \quad \text{ou :} \quad K^2 = \overline{25}^2 \cdot v.$$

On voit qu'on obtient facilement les coefficients de refroidissement dans tous les cas possibles et il semble qu'on puisse aller sans grande erreur jusqu'à des vitesses de l'air de 20 à 25 mètres par seconde. Il faut remarquer que les paraboles ne doivent pas être prolongées jusqu'à leur sommet, parce que, pour $v = 0$, le coefficient K n'est pas nul. Dans les expériences de M. Ser, la vitesse minima de l'air a été de $0^m,93$. Il serait peu précis d'appliquer la loi parabolique au-dessous de cette limite.

Les coefficients K ainsi déterminés ne s'appliquent qu'à des tuyaux non munis d'enveloppes isolantes.

Faisons-en l'application aux cylindres de locomotive et considérons une locomotive compound à quatre cylindres, dont les dimensions intérieures sont :

Cylindre H. P. . . . Diamètre, $0^m,34$; longueur, $0^m,77$
Cylindre B. P. . . . Diamètre, $0^m,53$; longueur, $0^m,77$

Les surfaces extérieures des cylindres (en ne prenant conventionnellement que la moitié de la face arrière qui est à l'abri du vent) sont approximativement :

Cylindre H. P. . . . . $1^{m2},33$
Cylindre B. P. . . . . $2^{m2},03$

Le réservoir intermédiaire a une surface extérieure de $1^{m2},7$ environ.

Les températures intérieures sont respectivement 160°, 120° et 135°, ce qui, en supposant que la température de l'atmosphère soit de 10°, donne des excès de températures de 150°, 110° et 125°.

Pour des vitesses de $12^m,5$ — $18^m,8$ — 25 mètres par seconde ou de 2, 3 et 4 tours (en admettant que les roues motrices ont 2 mètres de diamètre), le calcul des pertes de chaleur est résumé dans le tableau suivant :

VITESSES	CYLINDRE H. P.			CYLINDRE B. P.			RÉSERVOIR	
	Valeur de K	Perte de chaleur par seconde en calories	Perte de chaleur par coup de piston	Valeur de K	Perte de chaleur par seconde	Perte de chaleur par coup de piston	Valeur de K	Perte de chaleur par seconde
$12^m,5$	87	$4^{cal},82$	$1^{cal},205$	86	$5^{cal},33$	$1^{cal},33$	86	$5^{cal},1$
18 ,8	107	5 ,93	0 ,990	105	6 ,51	1 ,085	105	6 ,2
25 ,0	122	6 ,76	0 ,845	119	7 ,38	0 ,92	119	9 ,025

Si nous considérons, par exemple, le réservoir intermédiaire, on voit qu'il perd $6^{cal},2$ par seconde à la vitesse de 3 tours. Cette perte de chaleur entraîne la condensation d'une partie de la vapeur contenue dans le réservoir. A 151°, la chaleur de vaporisation de 1 kilogramme de vapeur est de 500 calories. Une perte de $6^{cal},2$ correspond à une quantité de vapeur condensée égale à :

$$\frac{6,2}{500} = 0^{kg},0124 \text{ par seconde.}$$

Il se condense donc $0^{kg},0124$ par seconde ou $0^{kg},00413$ par tour ou $0^{kg},00103$ par cylindrée. Comme la dépense de vapeur sèche par cylindrée est d'environ $0^{kg},154$, la proportion de vapeur condensée au réservoir est :

$$\frac{0,00103}{0,154} = 0,0067, \text{ soit } 0,67 \text{ p. } 100.$$

Il résulte de ce qui précède que les pertes dues au refroidissement extérieur peuvent être regardées comme insignifiantes.

Cependant les chiffres que nous donnons pour ces pertes

doivent être supérieurs à la réalité, puisque le calcul a été fait sans tenir compte des enveloppes isolantes dont sont toujours munis les cylindres, tuyaux et réservoirs de vapeur. Nous ne pensons pas, du reste, que ces enveloppes, telles qu'elles sont disposées sur les locomotives, aient une bien grande efficacité et réduisent de plus de 20 p. 100 les pertes de chaleur.

11. Calcul des échanges de chaleur entre la vapeur et les parois métalliques.

J'ai précédemment exposé (*Annales des Mines*, livraison de juin 1893) la théorie mathématique de la transmission de la chaleur dans une paroi métallique chauffée par une source de chaleur dont la température varie avec le temps; cette théorie permet de calculer, à chaque instant, la température sur la surface de la paroi chauffée. Si on désigne par θ la température de la vapeur et par T la température à la surface de la paroi, au temps t; par h le coefficient de conductibilité extérieure égal à 6,8; la quantité de chaleur transmise par unité de surface de l'origine du temps jusqu'à t_1 est donnée par :

$$Q_1 = h_1 \int_0^{t_1} (\theta - T)\, dt.$$

Traçons les courbes θ et T en prenant le temps pour abscisses; cette quantité de chaleur est proportionnelle à la surface comprise entre les courbes θ, T et les ordonnées correspondent aux abscisses o et t_1.

Les parois d'un cylindre doivent être décomposées en deux parties distinctes qui sont :

1° Les parois couvercle formées par le fond du cylindre, la surface du piston et la surface des lumières;

2° Les parois cylindriques.

Si on considère la durée d'une révolution complète,

c'est-à-dire un tour de roue, les parois couvercle sont, à chaque instant, sur toute leur étendue, en contact avec une même source de chaleur. Donc la température de tous les points de ces parois est, à chaque instant, la même, et pour avoir la totalité de chaleur transmise pendant la durée d'une révolution t_1, il suffit de calculer l'expression (S_1 étant la surface totale des parois couvercle) :

$$Q_1 = h S_1 \int_0^{t_1} (\theta - T)\, dt.$$

Pour les parois cylindriques, les choses se passent différemment, car ces parois ne sont pas constamment en contact avec la vapeur qui se trouve d'un même côté du piston et elles sont découvertes successivement par ce dernier. Dès lors, la loi des températures de la source de chaleur, c'est-à-dire de la vapeur, est variable pour chaque section circulaire du cylindre.

Soit (*fig.* 6) deux axes coordonnés; celui des abscisses représente le temps et celui des ordonnées les températures. Au temps initial et au temps t_1, le piston est au même point mort; l'intervalle ot_1 représente donc la durée d'une révolution.

La courbe ABCDE est le diagramme des températures de la vapeur dans le cylindre à basse pression pour une admission de 50 p. 100; c'est la loi des températures de la source qui échauffe les parois couvercle, et la courbe $A_1B_1C_1E_1$ représente la loi des températures sur la surface de ces parois. La quantité de chaleur qui est échangée avec ces dernières :

1° Positivement, est proportionnelle à la somme des surfaces :

$$A_1ABB_1C_1 + D_1EE_1;$$

2° Négativement, est proportionnelle à la surface :

$$C_1D_1G.$$

S'il n'y avait pas de refroidissement extérieur, le phénomène serait périodique et la quantité de chaleur fournie serait exactement égale à la quantité de chaleur restituée. La première est en réalité un peu plus grande et égale à cette dernière plus la quantité de chaleur perdue extérieurement, qui est, d'ailleurs, faible par rapport aux autres.

Considérons maintenant un point quelconque de la paroi cylindrique ou plutôt la section circulaire qui passe par ce point. Supposons qu'elle soit découverte par le piston au bout du temps t. Quelle est la loi des températures de la source de chaleur qui échauffe pendant une révolution la section circulaire considérée?

Au moment où elle est découverte par le piston, la température de la vapeur est tB. A mesure que le piston continue sa course d'aller, puis de retour, jusqu'au point t' tel que $t't_1 = ot$, la température de la vapeur suit le diagramme BCD. Puis la section considérée est recouverte, un certain temps, par le piston et, pendant ce temps, $t't''$, la température de la source qui était auparavant t'D devient et reste égale à la température du piston t'D'. Ensuite la section est en contact avec la vapeur qui se trouve de l'autre côté du piston, c'est-à-dire qui fait partie de l'autre cylindrée que nous supposons identique à la première. Alors, pour avoir la température de la vapeur, il suffit, M étant la fin de la course aller du piston, de prendre $Mt'_1 = ot$, puis $t_1t'_1 = t't''$, ou bien $t''t''_1 = o$M et la température de la vapeur, au moment t'' est $t''_1C = t''C'$. A partir de C', on trace la partie CD du diagramme jusqu'à l'ordonnée élevée en t'_0; en effet, à ce moment, le piston recouvre de nouveau la section circulaire jusqu'à la fin de la révolution. La loi des températures θ' de la source de chaleur est donc BCDD'D''C'FF'F'' et la courbe qu'on en déduit pour la température T' sur la section circulaire considérée est telle que $B'_1C'_1D'_1F''_1$.

Si on considère une couronne annulaire de largeur infiniment petite, sa surface est : $\frac{\pi c D}{2} \sin\alpha d\alpha$, C étant la course du piston, D son diamètre et α l'angle de manivelle.

La chaleur échangée, pendant un tour, avec cette couronne annulaire est :

$$h \frac{\pi CD}{2} \sin\alpha \, d\alpha \int_0^{t_1} (\theta' - T') \, dt.$$

Et la chaleur totale échangée avec la paroi cylindrique est :

$$\int_0^{180°} h \frac{\pi CD}{2} \sin\alpha \, d\alpha \int_0^{t_1} (\theta' - T') \, dt = h \frac{\pi CD}{2} \int_0^{180°} \int_0^{t_1} (\theta' - T') \sin\alpha \, d\alpha \, dt.$$

En posant : $\sin\alpha \, d\alpha = dl$, ce qui en pratique revient à prendre pour abscisses, non les angles de manivelle ou le temps, mais les longueurs parcourues par le piston, l'expression ci-dessus devient :

$$h \frac{\pi CD}{2} \int_0^{t_1} \int_0^{l} (\theta' - T') \, dl \, dl.$$

Dans la pratique, on construit un certain nombre de courbes $T' - T'' - T'''$, etc., correspondant à des sections du cylindre situées dans la première moitié de la course aller. Ces courbes s'appliquent aussi aux sections symétriques des premières par rapport au plan qui passe par le milieu du cylindre. Puis on prend les valeurs $(\theta - T')$, $(\theta - T'')$, etc., qui représentent, au même moment, les excès de températures en divers points du cylindre et on les porte comme ordonnées sur un axe des abscisses égal à la longueur l de la course du piston. On calcule ainsi la valeur :

$$L = \int_0^{l} (\theta - T) \, dt,$$

d'où on déduit facilement :

$$Q_2 = \int_0^{t_1} L\,dt.$$

On peut aussi ne calculer cette dernière intégrale qu'entre l'origine du temps et un moment quelconque t. On a alors la chaleur échangée jusqu'à ce moment. C'est ainsi qu'on peut obtenir la chaleur échangée pendant l'admission, pendant la détente, etc.

Les *fig.* 6 et 7 représentent l'application de la méthode ci-dessus décrite au diagramme du cylindre à basse pression (diagramme que nous avons établi d'autre part) de la locomotive compound du Nord.

Les ordonnées de la courbe $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\beta'$, où les temps sont les abscisses, représentent les quantités de chaleur cédées à chaque instant tant aux parois couvercle qu'à la paroi cylindrique, c'est-à-dire, les valeurs de :

$$hS_1(0 - T) + h\frac{\pi CD}{2}\int_0^l (0 - T')\,dl.$$

Les ordonnées situées au-dessus de l'axe des abscisses représentent les quantités de chaleur cédées aux parois, les ordonnées situées au-dessous de l'axe sont les quantités de chaleur restituées par les parois à la vapeur.

La quadrature de cette courbe entre deux abscisses quelconques donne la quantité de chaleur échangée pendant le temps correspondant à la différence des abscisses. Ainsi la quantité totale de chaleur cédée aux parois est égale à la somme des surfaces :

$$0\alpha\beta\gamma + 0\gamma\delta\varepsilon = 14^{cal},66.$$

La quantité totale de chaleur restituée par les parois est :

$$0'\beta'\varepsilon + 0'\beta'\alpha = 14^{cal},03.$$

Les points A, D, E, C (*fig.* 7) indiquent les commencements de l'admission, de la détente, de l'échappement et de la compression. On voit que la vapeur ne cesse de céder de la chaleur aux parois qu'après la fin de la détente. En général, le changement de signe des échanges se produit pendant la détente ; mais il faut pour cela que la durée de cette période soit relativement longue et que l'admission soit courte, ce qui n'a pas lieu dans le diagramme considéré où l'admission est de 50 p. 100. En outre cela dépend du nombre de tours par minute. Plus la marche est lente, plus le changement de signe des échanges se rapproche de la fin de l'admission.

Il est facile de déduire de la courbe des échanges de chaleur celle des quantités de vapeur condensée ou vaporisée ; il suffit, à cet effet, de diviser les ordonnées de la courbe $\alpha\beta\gamma$, etc., par les chaleurs de vaporisation r, correspondant aux diverses températures du diagramme des températures de la vapeur. On construit ainsi une courbe $\alpha\beta_1\gamma_1$, etc., dont il suffit de faire la quadrature pour avoir les condensations ou les revaporisations dans un temps donné. Nous déduisons de cette courbe les chiffres suivants.

Quantités de vapeur condensée :

Pendant la compression.	$0^{kg},00435$
— l'avance à l'admission	0 ,00275
— l'admission.	0 ,01755
— la détente.	0 ,003365
— l'avance à l'échappement	0 ,00054
Total.	$0^{kg},028555$

Quantités de vapeur revaporisée :

Pendant l'avance à l'échappement	$0^{kg},005134$
— l'échappement	0 ,02152
— la compression.	0 ,00024
Total.	$0^{kg},026894$

La quantité totale de vapeur revaporisée est égale

à 95 p. 100 environ de la quantité totale de vapeur condensée.

Il y a lieu de remarquer que, quand même il n'y aurait pas de refroidissement extérieur et que, par suite, les quantités de chaleur cédées aux parois et restituées par elles seraient égales, la quantité de vapeur revaporisée serait plus petite que la quantité de vapeur condensée, attendu que la chaleur de vaporisation r augmente quand la température diminue.

Si nous envisageons le passage de la vapeur dans les cylindres à haute pression d'une machine compound, nous sommes en mesure d'apprécier quelle est la perte de vapeur qui se produit entre la chaudière et le réservoir intermédiaire. Cette perte est très petite, puisque la quantité de vapeur revaporisée dans un cylindre est égale, à 5 p. 100 près, à la quantité de vapeur condensée.

On voit, d'après ce qui précède, qu'on peut étudier d'une façon très précise les phénomènes thermiques qui se produisent au sein de la vapeur travaillant dans un cylindre.

CHAPITRE III.

ÉTUDE DE LA DÉPENSE DE VAPEUR D'UNE MACHINE COMPOUND.

12. Balance des quantités de vapeur dépensées au cylindre à haute pression et au cylindre à basse pression.

Lorsqu'une machine compound marche à une allure déterminée, c'est-à-dire lorsque la vitesse est constante, les crans de marche fixes, et que l'ouverture du régulateur

et la pression de la chaudière restent les mêmes, la pression de la vapeur dans le réservoir intermédiaire doit rester invariable ou plutôt, en réalité, osciller entre des limites fixes et la dépense de vapeur des cylindres à haute et à basse pression doit être la même. C'est sur cette condition d'égalité de dépense dans les deux cylindres qu'il faut s'appuyer pour calculer quelle est la pression de la vapeur dans le réservoir intermédiaire. Jusqu'ici nous avons pris la question autrement et nous nous sommes donné cette pression. Il s'agit donc, maintenant, de vérifier l'égalité de dépense à l'aide des résultats obtenus dans les chapitres précédents.

Examinons, d'abord, quelles sont les pressions dans les espaces libres des cylindres au commencement de l'avance à l'admission. Suivant que ces pressions sont inférieures, égales ou supérieures à celles de la vapeur dans les boîtes des tiroirs, il y a ou non admission de vapeur pendant l'avance à l'admission.

Dans le cylindre à haute pression, il y a $0^{kg},064995$ de vapeur au commencement de la compression. Il se condense pendant la période de compression $0^{kg},00355$ et pendant l'avance à l'admission $0^{kg},002625$, soit en tout : $0^{kg},006175$. La masse de vapeur qui devrait occuper l'espace libre, à la fin de la course, est donc :

$$0,064995 - 0,006175 = 0,05882.$$

Le volume est, d'ailleurs, 0,007456. Par suite la densité est :

$$\frac{0,05882}{0,007456} = 7,88.$$

Cette densité étant supérieure à celle de la vapeur dans la boîte du tiroir, qui est de 7,289, il y a une légère surcompression et il ne se produit pas d'entrée de vapeur dans le cylindre pendant l'avance à l'admission ; mais, au contraire, il y a émission de vapeur. La masse qui

occuperait l'espace libre à la densité de 7,289 serait de $0^{kg},054347$. Pour avoir la quantité de vapeur réellement admise pendant la période d'admission, il faut diminuer la quantité calculée au paragraphe 3 de la différence entre 0,05882 et 0,054347, soit de 0,004383.

Dans le cylindre à basse pression, il y a, au commencement de la compression $0^{kg},03088$ de vapeur. Il se condense pendant la compression et l'avance à l'admission $0^{kg},0071$. La masse qui occupe l'espace libre à la fin de la course est donc :

$$0,03088 - 0,0071 = 0,02378,$$

et la densité est :

$$\frac{0,02378}{0,008} = 2,972.$$

Elle est supérieure à la densité de la vapeur dans la boîte du tiroir, qui est 2,664. Si elle lui était égale, la masse de vapeur contenue dans l'espace libre serait :

$$0,008 \times 2,664 = 0,021312.$$

La quantité de vapeur réellement admise pendant la période d'admission s'obtient en diminuant de :

$$0,02378 - 0,021312 = 0,002468,$$

la quantité calculée au paragraphe 5.

Cherchons maintenant quelle est la quantité de vapeur qui passe du cylindre à haute pression dans le réservoir intermédiaire.

A la fin de l'admission, la masse de vapeur sensible contenue dans le cylindre à haute pression est	$0^{kg},197869$	
A la fin de l'échappement la masse de vapeur est.	0 ,064995	
La masse de vapeur sensible évacuée, égale à la différence des quantités ci-dessus, est	0 ,132874	(α)
La quantité totale de vapeur condensée pendant la compression et l'admission est $0^{kg},0206$. La quantité de vapeur revaporisée pendant l'échappement est égale à la précédente, moins une fraction de 5 p. 100 environ. C'est donc . .	$0^{gr},0196$	(β)
Il arrive dans le réservoir une masse de vapeur sensible égale à la somme des quantités (α) et (β), c'est-à-dire	0 ,152474	

La dépense du cylindre à basse pression s'établit comme il suit :

Quantité de vapeur sensible présente dans le cylindre à la fin de l'admission.	0,1575781
Quantité de vapeur sensible, fin de l'échappement. .	0,03088
Différence	0,1266981
Quantité de vapeur condensée pendant la compression et l'admission	0,02465
Dépense de vapeur.	0,1513481

Ainsi donc l'arrivée de vapeur dans le réservoir intermédiaire, par coup de piston, est de $0^{kg},152474$ et la sortie de vapeur 0,151348. La différence représente la quantité de vapeur condensée par suite du refroidissement extérieur du réservoir.

Il résulte du calcul ci-dessus qu'il entre dans le réservoir autant de vapeur qu'il en sort; c'est là la condition nécessaire et suffisante pour que la valeur de la pression au réservoir, admise au début, soit exacte.

La dépense réelle de vapeur, par coup de piston, est celle du cylindre à haute pression, un peu inférieure à $0^{kg},154$.

13. Détermination de la pression moyenne au réservoir intermédiaire.

Soient :

γ et x, les densités de la vapeur dans la boîte du tiroir du cylindre à haute pression et dans le réservoir intermédiaire;

λ et λ', les rapports entre les densités dans les cylindres à haute et à basse pression, à la fin de l'admission, et les densités γ et x;

V_a et V'_a, les volumes des cylindres H. P. et B. P. à la fin de l'admission;

μ, le rapport entre la densité dans le cylindre H. P. à la fin de l'échappement et la densité x;

μ', le rapport entre la densité dans le cylindre B. P. à la fin de l'échappement et la densité γ_0 de la vapeur à 100°;

V_c, V'_c, les volumes des cylindres H. P. et B. P. à la fin de l'échappement;

ν, le rapport entre la quantité de vapeur revaporisée dans le cylindre H. P. pendant la détente et l'échappement et entre la différence des quantités de vapeur sensible contenues dans le cylindre à la fin de l'admission et à la fin de l'échappement;

ν', ce même rapport pour le cylindre B. P.

La quantité de vapeur qui, à chaque coup de piston, passe du cylindre à haute pression dans le réservoir est :

$$(1 + \nu)(\lambda\gamma V_a - \mu x V_c).$$

Celle qui sort du réservoir pour être dépensée dans le cylindre à basse pression est :

$$(1 + \nu')(\lambda' x V'_a - \mu'\gamma_0 V'_c).$$

Si ρ représente la proportion de vapeur qui, à chaque coup de piston, se condense dans le réservoir intermédiaire, on doit avoir, lorsque la machine marche à une allure uniforme :

$$(1 - \rho)(1 + \nu)(\lambda\gamma V_a - \mu x V_c) = (1 + \nu')(\lambda' x V'_a - \mu'\gamma_0 V'_c).$$

De cette équation, on déduit la valeur de x, densité moyenne de la vapeur dans le réservoir intermédiaire, et, par suite, la valeur de la pression moyenne.

Mais il faut connaître la valeur des coefficients qui entrent dans cette équation. Leur détermination est possible parce qu'elle est indépendante de la marche en

compound et qu'elle peut, par suite, s'effectuer pour chaque cylindre indépendamment.

Au fond, ces coefficients sont des fonctions de x et l'équation ci-dessus ne contient, en réalité, qu'une inconnue. Mais ces fonctions étant elles-mêmes inconnues, il est nécessaire de déterminer les coefficients au préalable.

Le tableau suivant en donne quelques valeurs :

VITESSE en tours par seconde	DEGRÉ d'admission H. P.	DEGRÉ d'admission B. P.	λ	μ	ν	λ'	μ'	ν'	SERRAGE de l'échappement
	p. 100	p. 100							m. carr.
2	40	50	0,900	1,150	0,200	0,830	1,60	0,270	0,0100
3	40	50	0,890	1,207	0,150	0,760	1,49	0,192	0,0120
3	30	50	0,840	1,230	0,216	0,734	1,48	0,230	0,0120
4	30	50	0,813	1,275	0,175	0,718	1,70	0,210	0,0120
5	30	50	0,777	1,310	0,150	0,697	1,86	0,187	0,0150

On voit que les coefficients λ, λ', qui varient inversement à la dépression à la fin de l'admission, diminuent quand la vitesse augmente et quand la durée d'admission est réduite.

La compression anticipée dans le cylindre à haute pression (coefficient μ) est d'autant plus sensible que la vitesse est plus grande et que l'échappement est plus court.

Il en est de même dans le cylindre à basse pression. Mais ici intervient, en outre, le serrage de l'échappement. Nous avons supposé dans nos calculs des serrages moyens quoiqu'on soit souvent obligé, dans la pratique, d'abaisser la section d'échappement à 80 centimètres carrés.

La proportion des quantités de vapeur condensée diminue avec la vitesse. Elle est sensiblement plus élevée aux cylindres à basse pression qu'à ceux à haute pression.

14. Oscillation de la pression dans le réservoir intermédiaire.

Nous avons, jusqu'ici, fait tous nos calculs en supposant que la pression de la vapeur dans le réservoir intermédiaire est constante. Il n'en est pas ainsi, en réalité, bien que les manomètres ordinaires ne permettent pas de percevoir ces variations, qui sont extrêmement rapides. La pression varie parce que les quantités de vapeur qui, à chaque instant, arrivent dans le réservoir et en sortent ne sont pas égales, et les limites entre lesquelles elle varie sont faciles à déterminer.

A cet effet, nous construirons, en prenant le temps pour abscisses, d'une part les courbes qui représentent les quantités de vapeur qui affluent au réservoir, d'autre part celles qui représentent les quantités de vapeur qui en sortent (*fig.* 8, Pl. I).

Nous avons, pour cela, tous les éléments nécessaires, puisque nous connaissons les diagrammes des pressions et ceux des échanges de chaleur.

Considérons d'abord l'avance à l'échappement et l'échappement dans le cylindre à haute pression.

Au début de l'avance à l'échappement, la pression est de $6^{kg},646$ et la densité de 3,96; il y a dans le cylindre $0^{kg},198$ de vapeur. A la fin de la course du piston, il y a dans le cylindre $0^{kg},17464$ de vapeur. Il s'est donc écoulé, en premier lieu, un poids de vapeur sensible égal à 0,02464. En outre il s'est revaporisé pendant cette période $0^{kg},0065$ de vapeur. Par suite, la quantité totale de vapeur écoulée est : $0,02464 + 0,0065 = 0,03114$.

La masse de vapeur qui, à un moment quelconque, s'écoule pendant l'unité de temps, est donnée par la formule :

$$m = \gamma \omega w.$$

On construit, avec les valeurs m, la courbe abc (*fig.* 8) et cette courbe doit être telle que sa quadrature donne la masse totale de vapeur écoulée pendant l'avance à l'échappement, soit : $0^{kg},03114$.

On construit de la même façon la courbe cde qui correspond à l'échappement proprement dit et dont la quadrature doit donner la quantité totale de vapeur écoulée pendant cette période.

A la fin de la course du piston, il y a dans le cylindre une masse de vapeur de.	$0^{kg},17464$
A la fin de l'échappement, il y a	$0^{kg},064995$
Différence.	$0^{kg},109645$
Il faut ajouter à ce chiffre la quantité de vapeur vaporisée pendant l'échappement, soit	$0^{kg},0131$
Le total de vapeur écoulée est. . . .	$0^{kg},122745$

L'ordonnée maxima de la courbe cde est celle qui correspond à la demi-course de retour, c'est-à-dire à $\alpha = -90°$. Nous savons que quand la manivelle est dans cette position, on peut admettre que la densité ne varie pas dans le cylindre et que, par suite, la masse de vapeur écoulée, dans un temps donné, est égale à celle qui occupait le volume engendré par le piston pendant le même temps. Par conséquent, la masse écoulée, pendant l'unité de temps, est :

$$\gamma \frac{dv}{dt} = 2,782 \times 0,029053 \times 6\,\pi = 1,523526.$$

Il faut ajouter à ce chiffre la quantité de vapeur revaporisée pendant l'unité de temps, laquelle est 0,08. Par suite, la masse totale écoulée est :

$$1,523526 + 0,08 = 1,603526.$$

Telle est l'ordonnée maxima de la courbe d'écoulement pendant l'échappement.

A chaque tour de roue, il y a deux coups d'échappement à chaque cylindre. Pour avoir la courbe d'échappement de la face du piston autre que celle considérée ci-dessus, il n'y a qu'à transporter la courbe $abcde$, parallèlement à l'axe du temps, à une distance égale à la durée d'un demi-tour. De même, la manivelle de l'autre cylindre étant calée à 90° de celle du premier, pour avoir les courbes d'échappement de l'autre cylindre, il suffit de faire glisser la courbe $abcde$ d'une longueur égale, d'une part, à la durée d'un quart de tour, d'autre part, à celle de trois quarts de tour. Il faut ensuite ajouter les ordonnées, correspondant à une même abscisse, de toutes ces courbes pour avoir la courbe qui représente les quantités totales de vapeur affluant dans le réservoir intermédiaire. Cette courbe, mnp, est telle qu'elle se reproduit identiquement au bout d'une abscisse quelconque égale à un quart de tour.

Le diagramme des sorties de vapeur du réservoir intermédiaire se déduit aisément de l'étude de l'admission aux cylindres à basse pression (§ 5). A un moment quelconque, la quantité de vapeur sensible admise sur l'une des faces du piston est donnée par la formule : $\gamma \frac{dv}{dt}$, et on connaît les valeurs de γ. A cause de la surcompression, il n'y a pas admission de vapeur pendant l'avance à l'admission, ni au début de l'admission proprement dite. Au contraire, une petite quantité de la vapeur contenue dans l'espace libre du cylindre passe dans le réservoir. On peut admettre, ce qui revient au même, que l'admission ne commence réellement qu'à partir du moment où la vapeur contenue dans le cylindre, à la fin de la compression, est revenue à la pression du réservoir. Au fond, le fait a peu d'importance et pour en tenir compte, dans le cas actuel, nous admettrons simplement que l'admission ne commence en réalité qu'un demi-centième de seconde après le commencement de la course.

On calcule donc, à l'aide de la formule $m = \gamma \frac{dv}{dt} + \varepsilon$, ε étant la quantité de vapeur condensée, les ordonnées de la courbe d'admission au cylindre BP. Cette courbe est telle que $\alpha\beta\gamma$. O′ est l'origine de la course du piston du cylindre BP. Comme les manivelles motrices des cylindres à haute et à basse pression, d'un même côté, au lieu d'être calées à 180°, font entre elles un angle de 162°, il en résulte que l'origine de la course au cylindre BP, est en avance de 18° sur celle de la course au cylindre HP.

Nous donnons ci-après quelques valeurs des ordonnées de la courbe $\alpha\beta\gamma$.

Angles de manivelle.	Valeurs de $m = \gamma \frac{dv}{dt} + \varepsilon$.
25°	$1{,}467 + 0{,}198 = 1{,}665$
45°	$2{,}294 + 0{,}205 = 2{,}5$
60°	$2{,}522 + 0{,}22 = 2{,}74$
78°	$1{,}873 + 0{,}226 = 2{,}1$

L'admission dans les cylindres BP étant de 50 p. 100, soit un quart de tour, la courbe des sorties totales de vapeur du réservoir, pendant un tour, se compose de quatre branches successives identiques à $\alpha\beta\gamma$.

Les quantités de vapeur arrivant dans le réservoir et celles en sortant, pendant un quart de tour, doivent être égales; par suite, la surface comprise entre la courbe mnp, les ordonnées $o'm$, ωp et l'axe des abscisses doit être égale à la surface comprise entre la courbe $\alpha\beta\gamma$, les ordonnées $O'_1\alpha$, $\omega\gamma$ et l'axe des abscisses. Il est facile de s'en assurer en faisant la quadrature et cela vérifie l'exactitude des calculs qui ont conduit à la construction de ces courbes.

Si, maintenant, on construit une courbe telle que chaque ordonnée soit égale à la différence des deux ordonnées correspondantes des courbes mnp, $\alpha\beta\gamma$, cette

courbe, dont l'axe $A\lambda\mu$ est l'axe des abscisses, représente les différences entre les arrivées et les sorties de vapeur. Les parties qui se trouvent au-dessous de l'axe $A\lambda\mu$ mesurent l'excès de l'arrivée sur la sortie et, au contraire, la partie qui est au-dessus de l'axe mesure l'excès de la sortie sur l'arrivée. On en déduit facilement, par des quadratures, la variation de pression dans le réservoir entre deux instants quelconques. En λ, point d'intersection de la courbe avec l'axe, la pression est maxima. En effet, jusqu'en λ, il y a excès de l'arrivée de vapeur sur la sortie; donc la pression augmente. A partir de λ, il y a excès de la sortie sur l'arrivée; donc la pression diminue. En μ, la pression est minima, pour les mêmes raisons.

Soit P la pression au moment λ. De λ à μ, l'excès de la sortie sur l'arrivée, mesuré par la surface comprise entre la courbe $\lambda\delta\mu$ et l'axe, est de $0^{kg},02995$. Or le volume du réservoir est de $0^{m3},1768$. L'excès de vapeur sortie entraîne donc une diminution de la densité égale à :

$$\frac{0,02995}{0,1768} = 0,169.$$

Nous savons que la pression moyenne est de 5 kilogrammes et la densité moyenne de 2,664. Par conséquent, la densité réelle varie de $2,664 + \frac{0,169}{2} = 2,749$ à $2,664 - \frac{0,169}{2} = 2,579$; et la pression varie de $5^{kg},18$ à $4^{kg},82$. La variation totale est de $0^{kg},36$.

La courbe de la pression dans le réservoir intermédiaire est la courbe *ilk*. Au commencement de la course du piston du grand cylindre, la pression dans le réservoir est $4^{kg},9$; à la fin de la course du piston du petit cylindre, la pression est $5^{kg},15$. S'il n'y avait pas surcompression au grand cylindre, la pression d'admission dans ce dernier

devrait croître à partir du début de l'admission et ne diminuer que dans la seconde moitié de l'admission. C'est, en effet, ce que l'on observe sur les diagrammes d'indicateur pris à petite vitesse.

15. Discussion de la méthode employée pour l'étude des périodes d'échappement et des variations de la pression au réservoir intermédiaire.

J'ai expliqué plus haut (§ 2) que pour étudier d'une façon exacte la période d'échappement du cylindre à haute pression, il faut savoir comment varie la pression au réservoir. A cet effet, il est nécessaire d'évaluer, à chaque instant, les quantités de vapeur qui entrent dans ce réservoir et celles qui en sortent.

Pour les premières, on peut les déduire du calcul de l'échappement effectué dans l'hypothèse où la pression au réservoir est constante et égale à sa valeur moyenne. Mais quelle foi faut-il ajouter aux résultats obtenus par ce moyen et ne semble-t-il pas paradoxal de chercher comment une quantité varie en se basant sur un calcul où on a supposé cette même quantité constante?

Dans l'espèce, la méthode est absolument rigoureuse.

En effet, si dans l'étude de l'échappement on a commis des erreurs sur les quantités de vapeur sorties du cylindre, cela n'a pu influer sur l'allure de la courbe *cde* (*fig.* 8, Pl. I) qui les représente, parce que les quantités négligées et, par suite, les erreurs commises sont d'un ordre de grandeur inférieur à celui des quantités calculées. Considérons, par exemple, les quantités m de vapeur qui affluent dans le réservoir intermédiaire. La valeur de m est donnée par l'expression :

$$m = \gamma\left(\frac{dV}{d\tau} + \frac{dV'}{d\tau}\right),$$

γ étant la densité dans le cylindre, dV et dV', la variation

du volume de chacun des cylindres à haute pression. Or, en prenant pour γ, au lieu de sa vraie valeur, celle calculée dans l'hypothèse où la pression au réservoir est constante, on ne commet qu'une erreur petite, au plus égale à 1/30^e dans la pratique. Donc, les erreurs commises dans le premier calcul approximatif ne peuvent altérer que très peu la courbe des quantités de vapeur arrivant dans le réservoir. Il en est de même de la courbe $\alpha\beta\gamma$ représentant les quantités de vapeur admises au cylindre à basse pression et, par suite, de la courbe *ilk*, qui se déduit des précédentes et qui montre comment varie la pression au réservoir. Il se dégage donc un fait précis, indépendant de l'erreur qu'on a pu commettre dans le premier calcul approximatif de l'échappement au cylindre à haute pression (aussi bien que de l'admission au cylindre à basse pression), c'est que la pression au réservoir intermédiaire est maxima chaque fois que la manivelle d'un des cylindres à haute pression a dépassé la position à 90° du point mort et minima quand elle est un peu avant le point mort.

Cela est, du reste, visible, *a priori*, car étant donné la position relative des manivelles des cylindres à haute et à basse pression, il est clair que dans le premier cas il entre dans le réservoir une grande quantité de vapeur alors qu'il en sort très peu, tandis que c'est le contraire dans le second cas.

Cela résulte enfin, non plus théoriquement, mais pratiquement, de l'examen des diagrammes réels pris à l'indicateur.

Ainsi, la position des maxima et des minima de la pression au réservoir étant nettement établie, en dehors de toute hypothèse, nous voyons qu'en basant le calcul de l'échappement sur la pression moyenne au réservoir, nous avons commis une erreur par défaut de l'ordre de grandeur de la demi-variation de pression au réservoir.

Si, maintenant, nous calculons de nouveau l'échappement d'après la courbe des pressions au réservoir qui a été établie *a posteriori*, et sur laquelle les erreurs commises en premier lieu n'ont qu'une minime influence, nous obtenons, comme deuxième approximation, des résultats forcément plus approchés que les premiers, et la méthode employée est rigoureuse.

L'erreur commise, sur la pression dans le cylindre, dans le premier calcul est de l'ordre de grandeur de la quantité négligée. Dans l'exemple traité dans les paragraphes précédents, nous voyons, en effet, que la différence de pression entre le cylindre et le réservoir est de $0^{kg},22$, alors que l'erreur commise en prenant la pression moyenne au réservoir, soit 5 kilogrammes, est de $5^{kg},18 - 5 = 0^{kg},18$, puisque la pression maxima au réservoir est de $5^{kg},18$. Il en résulte que la pression dans le cylindre est de $5^{kg},18 + 0,22 = 5,40$. Cette dernière valeur est très voisine de la réalité.

Dans l'étude de l'échappement aux cylindres à basse pression, il est nécessaire de savoir comment varie la pression dans le tuyau d'échappement. On y arrive, comme pour le réservoir intermédiaire, en évaluant les quantités de vapeur qui sortent des cylindres et on parvient ainsi à une estimation exacte du phénomène, parce que les erreurs qu'on commet sont très petites par rapport aux quantités calculées.

Les courbes d'échappement des cylindres à basse pression sont évidemment analogues à celles des cylindres à haute pression, tracées sur la *fig.* 8. Par suite la courbe des arrivées de vapeur dans le tuyau d'échappement a la même forme que la courbe *mnp*. On voit ainsi que, pendant plus de la moitié de la durée de l'émission, cette courbe se confond sensiblement avec une droite parallèle à l'axe et qu'alors la pression doit être constante dans le tuyau d'échappement. Elle baisse à la fin de chaque

émission, soit de l'un, soit de l'autre des cylindres et se relève très brusquement dès que commence l'échappement anticipé.

16. Travail effectué dans les cylindres. Dépense de vapeur et rendement.

Les diagrammes en traits pleins de la *fig.* 9 (Pl. II), sont ceux des cylindres à haute et à basse pression pour le cas que nous avons étudié jusqu'ici. Ces diagrammes sont définitifs, c'est-à-dire que la courbe de compression a été rectifiée de façon à tenir compte des condensations. En mesurant la surface de chacun d'eux, on obtiendra le travail effectué dans un coup de piston.

Jusqu'ici, on s'est borné à étudier ce qui se passe sur l'une des faces du piston. Si on considère l'autre face, les diagrammes des pressions ne sont pas absolument les mêmes que sur la première, parce que les phases de la distribution d'un côté et de l'autre du piston ne sont pas identiques. Le tableau suivant permet d'en saisir les différences.

	CYLINDRE A HAUTE PRESSION EN CENTIÈMES DE LA COURSE DU PISTON					
	Admission	Détente	Émission anticipée	Durée de l'émission	Compression	Contre-vapeur
Face avant. . . .	40	33,5	26,5	78	20	2
Face arrière. . .	40	32	28	80	18	2
	CYLINDRE A BASSE PRESSION					
Face avant. . . .	50	28	22	82	16 3/5	1 2/5
Face arrière. . .	48	27	25	84	15 3/5	2/5

En somme les variations des diverses phases sont fort peu importantes et, si on construit les diagrammes des pressions sur les faces des pistons autres que celles

considérées jusqu'ici, ils ne diffèrent pas sensiblement de ceux de la *fig.* 9.

Par conséquent, pour avoir le travail indiqué, nous nous contenterons de mesurer la surface de ces derniers diagrammes.

On obtient ainsi les chiffres suivants :

Travail en kilogrammètres par coup de piston.

Cylindre H. P. . . . . $41500 \times 0{,}058106 = 2411^{kgm},4$
Cylindre B. P. . . . . $19000 \times 0{,}141196 = 2682^{kgm},724$

Il faut multiplier les chiffres ci-dessus par 4, pour avoir le travail par tour ; puis, la machine faisant 3 tours par seconde, il faut encore multiplier par 3, pour avoir le travail par seconde. On trouve ainsi que :

	Chevaux-vapeur.
Dans les cylindres H. P. le travail indiqué est . .	385,8
Dans les cylindres B. P. le travail indiqué est . .	429,2
Total.	815,0

D'après ce qui a été dit au paragraphe 11, la dépense de vapeur sèche par coup de piston est de $0^{kg},154$. Il faut ajouter à ce chiffre la proportion d'humidité que contient la vapeur. Or, j'ai observé que dans la locomotive compound du Nord, et probablement dans toutes les machines compound bien construites, la quantité d'eau entraînée par la vapeur est moins grande que dans les machines monocylindriques. Elle ne dépasse pas 8 p. 100. C'est cette proportion que nous admettrons. La dépense de vapeur humide par coup de piston est alors :

$$0{,}154 + 0{,}08 \times 0{,}154 = 0^{kg},16632.$$

La dépense de vapeur par heure est :

$$0{,}16632 \times 12 \times 3600 = 7185^{kg},024,$$

et la dépense de vapeur par cheval-heure :

$$\frac{7185{,}024}{815} = 8^{kg},816.$$

Nous verrons un peu plus loin que le cas, étudié jusqu'ici, d'une admission de 40 p. 100 au cylindre à haute pression, de 50 p. 100 au cylindre à basse pression pour une vitesse de trois tours par seconde et avec régulateur grand ouvert, est celui où le rendement de la machine est maximum. Dans les locomotives ordinaires (par exemple, les locomotives d'express à deux cylindres extérieurs de la compagnie d'Orléans) la dépense minima est d'environ 12 kilogrammes de vapeur par cheval-heure. L'économie que présente la machine compound du Nord serait donc :

$$\frac{12 - 8{,}816}{12} = 0{,}265, \text{ soit } 26{,}5 \text{ p. } 100.$$

Cette comparaison est, d'ailleurs, purement théorique, car les machines travaillent assez rarement dans les conditions du rendement maximum, les machines compound moins que les autres parce que leur conduite est plus difficile et a été basée jusqu'ici sur des idées théoriques un peu incertaines.

Pour déduire, de la dépense de vapeur, la dépense de combustible, il faudrait connaître le rendement de la chaudière. Ce rendement ne peut être connu que d'après les données de l'expérience, et on arriverait à des résultats erronés si on voulait le faire entrer en ligne de compte dans une étude *a priori*, c'est-à-dire, si on voulait calculer la dépense de combustible. Ce qui caractérise le rendement d'un moteur à vapeur, de l'appareil où s'effectue la transformation de la chaleur en travail, c'est la dépense de vapeur et non celle de combustible.

Il y a lieu de remarquer que l'évaluation de l'économie, effectuée ci-dessus, doit, dans tous les cas, être rectifiée de façon à tenir compte de la différence des pressions à l'admission. Quand on dépense de la vapeur, à la pression de 10 kilogrammes, il faut moins de calorique que lorsque

la pression est de 15 kilogrammes. La chaleur totale de vaporisation λ de 1 kilogramme de vapeur est :

Pour une pression de 10 kilogr., $\lambda = 170 + 479{,}73 = 658^{cal},73$
— de 15 kilogr., $\lambda = 197{,}4 + 466{,}22 = 663^{cal},62$

La différence est de $4^{cal},89$ par kilogramme de vapeur. Ainsi (en ne tenant pas compte, pour simplifier, de la proportion d'humidité), une dépense de 9 kilogrammes de vapeur par cheval-heure équivaut, quand la pression est de 15 kilogrammes, à une dépense de $5.972^{cal},58$ et une dépense de 12 kilogrammes de vapeur, à la pression de 10 kilogrammes, à $7.904^{cal},64$. L'économie qui ressort de ces chiffres est de 24,5 p. 100 au lieu de 26,5 p. 100. chiffre précédemment indiqué.

La consommation d'une machine compound varie avec les conditions de la marche. Pour permettre de comparer les différents rendements se rapportant à diverses allures, nous donnons ci-après un tableau résumant l'étude de cas variés.

NUMÉROS d'ordre	PRESSIONS d'admission au H. P.	PRESSIONS au réservoir intermédiaire	GRANS de marche (admission) H. P.	GRANS de marche (admission) B. P.	VITESSES en kilomètres à l'heure	TRAVAIL en chevaux sur les pistons H. P.	TRAVAIL en chevaux sur les pistons B. P.	TRAVAIL moteur indiqué total	DÉPENSE de vapeur par cheval-heure	SECTION de l'échappement
	kg	kg			km				kg	m²
1	14,6	5,0	40	50	71,7	385,8	429,2	815,0	8,816	0,0120
2	14,6	5,6	40	40	71,7	342,0	423,0	765,0	8,89	0,0120
3	14,6	3,9	30	50	71,7	325,0	265,4	590,4	8,90	0,0120
4	14,6	3,7	30	50	95,6	401,0	266,7	667,7	9,37	0,0120
5	14,6	3,6	30	50	119,5	446,2	267,3	713,5	9,65	0,0150
6	12,0	3,2	30	50	95,6	311,0	207,0	518,0	9,95	0,0150
7	12,0	3,9	30	40	95,6	223,7	225,9	449,6	10,36	0,0150
8	14,6	6,0	50	50	71,7	411,0	567,0	978,0	8,85	0,0120
9	14,6	4,75	40	50	47,8	290,4	298,2	588,6	9,05	0,0100
10	11,0	3,8	45	55	95,6	348,3	364,5	712,8	10,33	0,0120

La dépense d'une machine compound varie assez sensiblement avec les conditions de la marche. Ainsi quand, par suite de l'étranglement du régulateur, la pression de la vapeur à l'admission au cylindre HP tombe à 12

et 11 kilogrammes, la dépense de vapeur par cheval-heure augmente d'environ 1kg,3, c'est-à-dire de 15 p. 100. L'économie est alors fortement réduite. Il faut donc chercher à éviter d'étrangler la vapeur au régulateur. A cet effet, il serait nécessaire de calculer d'une façon convenable les dimensions des cylindres et de leurs espaces libres : sinon, et c'est, je crois, le cas pour la machine du Nord, il est encore préférable d'étrangler au régulateur malgré le peu d'économie que présente cette manière de procéder.

Il apparaît assez nettement que la raison d'être d'une machine compound est l'utilisation de hautes pressions. Si on peut faire une détente à peu près complète dans un seul cylindre, il est parfaitement inutile, il peut même être nuisible d'avoir deux cylindres.

La dépense varie en raison inverse de la pression au réservoir intermédiaire ; c'est une conséquence de ce que nous disons ci-dessus, car la pression au réservoir dépend de la pression d'admission au cylindre HP.

Elle dépend aussi du rapport des admissions aux cylindres à haute et à basse pression. Mais, malgré l'indépendance des distributions, les admissions, surtout au cylindre BP, ne peuvent pas varier dans des limites aussi étendues qu'on le voudrait. A ce dernier cylindre, il faut se tenir entre 50 et 60 p. 100 d'admission ; au-dessus de 60 p. 100, on ne fait pas une détente suffisante ; au-dessous de 50 p. 100, il se produit des contrepressions fort élevées, seulement admissibles dans le cas où la pression au réservoir est supérieure à 5 kilogrammes.

Au cylindre à haute pression l'admission peut varier davantage, entre 30 et 50 p. 100.

La dépense augmente avec la vitesse, mais pas beaucoup. La marche à 120 kilomètres à l'heure est encore assez économique. Cette augmentation de la dépense avec la vitesse tient principalement à la distribution.

Dans les marches économiques, le travail développé au grand cylindre est toujours plus élevé que celui développé au petit cylindre.

D'après le tableau précédent, la marche la plus économique serait la marche n° 1. La dépense de la marche n° 9, qui ne diffère de la marche n° 1 que par la vitesse, est, aussi, voisine du minimum. Il en résulte que la machine du Nord est surtout apte à développer un travail considérable, plus de 800 chevaux, à une allure pas trop rapide, 60 à 75 kilomètres à l'heure. Elle est beaucoup moins avantageuse si elle doit effectuer peu de travail en marchant très vite, si, par exemple, elle a à remorquer des trains peu chargés à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure.

Le tableau ci-dessus montre encore qu'une machine compound peut effectuer des travaux très variables sans perdre tout à fait ses avantages. D'après une opinion assez répandue, une machine compound serait peu élastique et son fonctionnement deviendrait très défectueux dès que l'on s'écarte des conditions de marche prévues. S'il y a du vrai dans cette opinion, il y a aussi beaucoup d'exagération. Du reste, ne pourrait-on pas en dire autant de toutes les machines, sans exception ? Je crois qu'il y a là surtout une question de construction et qu'une machine compound bien construite et ensuite bien dirigée peut être aussi souple que n'importe quelle autre machine.

Un fait intéressant à remarquer, c'est que la machine compound perd de ses avantages quand le travail effectué diminue, tandis que c'est le contraire qui arrive dans les machines monocylindriques.

17. Comparaison entre les résultats théoriques et ceux obtenus dans la pratique. Expérience effectuée en service courant.

M. du Bousquet, ingénieur en chef de la traction à la compagnie du Nord, a bien voulu me communiquer les

diagrammes qu'il a publiés dans la *Revue générale des chemins de fer* (juin 1892, Pl. 37). J'ai pu ainsi comparer les diagrammes théoriques et les diagrammes réels.

La marche que j'ai étudiée en détail dans les paragraphes précédents est à peu près identique à celle des nos 11, 12 et 13 du tableau de la page 335 de la *Revue des chemins de fer;* les admissions et la vitesse sont les mêmes. La *fig.* 9 (Pl. II) permet de saisir les différences entre le diagramme théorique et les diagrammes réels. Le premier est en traits pleins, le n° 11 en ponctué, le n° 12 en traits ponctués séparés par des points, le n° 13 en pointillé. On voit que le diagramme théorique ne diffère pas plus de chacun des autres qu'ils ne diffèrent entre eux, bien que ceux-ci se rapportent à des marches identiques.

Je dois aussi à l'obligeance de M. du Bousquet d'avoir pu faire une expérience de consommation d'eau sur une des nouvelles locomotives compound en service sur le Nord. Avec M. Collin, inspecteur de la traction, qui a bien voulu non seulement m'accompagner, mais encore m'aider à prendre les notes dont j'avais besoin, nous avons accompagné, le 6 octobre 1893, la machine n° 2124 remorquant le train rapide n° 122 d'Aulnoye à Paris.

D'après l'horaire, le train n° 122 part d'Aulnoye à 3 heures 7 minutes du soir et arrive à Paris à 6 heures. Il n'y a qu'un arrêt intermédiaire de 4 minutes à Saint-Quentin. La distance d'Aulnoye à Paris est de 215^{km},6.

La marche du train 122 du 6 octobre est représentée par la courbe AB de la *fig.* 11 (Pl. II) dans laquelle l'axe des abscisses est l'axe du temps compté en minutes et l'axe des ordonnées celui des vitesses comptées en kilomètres à l'heure. On voit que la vitesse a atteint et dépassé 100 kilomètres à l'heure sur les pentes de 5 millimètres de Busigny à Saint-Quentin et de Survilliers à Saint-Denis.

Le tonnage du train était de 200 tonnes environ (non compris la machine).

Nous avons noté la pression au réservoir intermédiaire et les crans d'admission aux cylindres à haute et à basse pression, autant que possible, toutes les fois que le mécanicien les modifiait. Enfin, M. Collin a mesuré à Aulnoye, à Saint-Quentin et à Paris les hauteurs d'eau dans le tender. On s'était arrangé de façon que la hauteur d'eau au tube de niveau de la chaudière fût la même à l'arrivée qu'au départ, à un centimètre près, correction dont il a été tenu compte.

La dépense réelle d'eau a été la suivante :

D'Aulnoye à Saint-Quentin	4^{m3},470
De Saint-Quentin à Paris	11^{m3},360.

A l'aide des observations faites sur la vitesse, la pression au réservoir intermédiaire et les crans de marche, j'ai calculé théoriquement la dépense d'eau. Elle est donnée, à chaque instant, par les ordonnées de la courbe A′B′ (*fig.* 11, Pl. II) qui, pour être ramenées à une échelle comparable à celle des abscisses, doivent être multipliées par 6/10 (*). Pour avoir la dépense entre deux moments quelconques, il faut mesurer la surface comprise entre la courbe A′B′, l'axe des abscisses et les ordonnées correspondant à chacun de ces instants.

Nous obtenons ainsi les résultats ci-après :

(*) En effet une ordonnée de 100 millimètres représente 1 kilogramme de dépense par seconde; il faut multiplier cette ordonnée par $\frac{60}{100}$, pour qu'elle représente 1 kilogramme de dépense par minute, étant admis que la même unité, le millimètre, mesure une minute sur l'axe des abscisses et 1 kilogramme sur l'axe des ordonnées.

Dépense d'eau théorique :

Entre Aulnoye et Saint-Quentin. . . $4^{m3},380$.
Entre Saint-Quentin et Paris. . . . . $11^{m3},420$.

Il y a donc accord, à 2 p. 100 près, entre les résultats théoriques et les résultats pratiques.

Le fort tonnage du train était très favorable à une marche économique de la machine.

CHAPITRE IV.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MACHINES COMPOUND.

---

18. Observations sur les diverses phases par lesquelles passe la vapeur dans les cylindres à haute et à basse pression.

Nous nous proposons, dans les paragraphes qui vont suivre, d'analyser en détail le fonctionnement d'une machine compound et d'en déduire les conséquences pratiques qui permettront d'obtenir le fonctionnement le plus parfait possible.

Nous passerons d'abord en revue les diverses phases de la distribution.

Admission dans les cylindres à haute pression. — On doit tenir, autant que possible, le régulateur ouvert en grand de façon que la pression d'admission soit peu inférieure à celle de la chaudière. L'abaissement de la pression pendant l'admission dépend surtout de la vitesse de marche et du degré d'introduction, c'est-à-dire du mouvement du tiroir. Il ne faut pas regarder comme étant

réellement nuisible le laminage de la vapeur aux lumières d'admission ; car, si ce laminage a pour effet d'abaisser, sur le diagramme, la courbe d'admission, ce qui diminue le travail produit, il a aussi pour effet de diminuer la quantité de vapeur admise et, somme toute, le rapport de la consommation au travail ne change pas sensiblement.

Admission dans les cylindres à basse pression. — On sait que la pression de la vapeur dans le réservoir oscille entre certaines limites. Dans le cas étudié au paragraphe 13, cette pression varie de $0^{kg},36$ dans chaque quart de tour. Cette variation dépend principalement de la vitesse, des degrés d'introduction et du volume du réservoir. Elle peut atteindre 1/2 kilogramme et même plus.

La pression d'admission aux grands cylindres au début de la course dépend de la pression dans le réservoir à ce moment et du degré de compression. Au début de l'admission, la pression dans le réservoir est très voisine de son minimum. Donc la pression dans les cylindres serait au plus égale à ce minimum s'il n'y avait pas surcompression. En réalité, il y a une surcompression assez sensible et, comme l'avance à l'admission est courte, la surpression subsiste au début de la course.

Du commencement à la fin de l'admission, la pression de la vapeur dans les grands cylindres diminue moins, en valeur absolue, que dans les petits cylindres. Au contraire, la densité de la vapeur s'abaisse dans une plus forte proportion. C'est ainsi que pour les admissions de 40 et 50 p. 100 et la vitesse de 3 tours par seconde, la densité à la fin de l'admission dans le petit cylindre est égale à 86 p. 100 de la densité au début de l'admission, ce qui provoque un abaissement de pression de $1^{kg},7$. D'autre part, dans le grand cylindre, la densité fin admission n'est que 76 p. 100 de la densité au début, et cepen-

dant cela ne correspond qu'à un abaissement de pression de $1^{kg},25$. Cela tient à ce que les densités varient à peu près proportionnellement avec les pressions. Par conséquent, un même rapport entre les densités correspond à des différences entre les pressions d'autant plus grandes que la valeur absolue de ces dernières est plus élevée. La supériorité du rapport des densités ou des pressions, dans les grands cylindres, sur ce même rapport dans les petits, tient principalement à ce que le rapport entre l'ouverture des lumières et la surface du piston est plus petit dans les grands cylindres que dans les autres, bien que la longueur des lumières soit de $0^{m},40$ dans les premiers et de $0^{m},26$ dans les seconds. Pour que les conditions fussent les mêmes dans les deux sortes de cylindres, il faudrait que les ouvertures des lumières fussent dans le rapport des surfaces des pistons qui est : $\frac{\pi\overline{0,34}^2}{\pi\overline{0,53}^2} = \frac{1156}{2890}$, soit environ $\frac{1}{2,5}$. Il est loin d'en être ainsi et on ne rachète que très imparfaitement la différence en faisant travailler les grands cylindres à des degrés d'introduction plus élevés que ceux des petits cylindres.

Détente. — Pendant la détente, il y a, en général, à la fois condensation et revaporisation de la vapeur (quelquefois il y a seulement condensation). L'excès de la quantité de vapeur condensée sur la quantité revaporisée ou inversement dépend de la longueur de la détente et des différences de température de la vapeur à l'admission et à l'échappement. Dans tous les cas, ces phénomènes ne portent que sur une très petite quantité de vapeur et ne présentent qu'une très minime importance.

Échappement des petits cylindres. — Lorsque la vitesse est assez élevée, la courbe d'échappement anticipé

semble, au début, faire suite à la courbe de détente; mais elle s'abaisse ensuite rapidement, parce que la lumière d'échappement s'ouvre très vite en grand. De sorte qu'avant la fin de la course, la pression dans le cylindre est à peu près égale à la pression extérieure, comme on peut le constater sur beaucoup de diagrammes pris à l'indicateur dont la longueur comptée sur l'axe des abscisses ne correspond pas à celle du cylindre, mais lui est inférieure. Pendant l'échappement proprement dit, la pression se relève peu à peu, à cause de la vitesse croissante du piston, puis elle reste à peu près constante de part et d'autre de la position de la manivelle à 90°. Vers la fin de l'échappement se produit la compression anticipée, d'où résulte un relèvement très notable de la pression, lequel est tout à fait le contrepied de l'abaissement de pression qui se produit à la fin de l'admission.

Les variations de pression dans le réservoir intermédiaire influent sur la courbe d'échappement. Si on se reporte à l'exemple traité au paragraphe 14, on voit que le maximum de pression dans le réservoir correspond à peu près, d'une part, à la fin de l'échappement anticipé, c'est-à-dire à la fin de la course, d'autre part, à la position de la manivelle à 90°. Par conséquent, à la fin de la course, la pression dans le cylindre est au moins égale à la pression maxima au réservoir et, vers le milieu de la course de retour, elle lui est supérieure de tout l'excès de pression nécessaire pour que la vapeur s'écoule régulièrement. On en conclut donc que l'échappement est réglé, en définitive, par la pression maxima au réservoir.

Échappement des grands cylindres. — Ses diverses phases sont analogues à celles de l'échappement aux petits cylindres, mais il y a ici un nouvel élément qui a une grande influence : c'est le serrage plus ou moins

grand de la tuyère d'échappement. On a souvent remarqué que les locomotives compound ont tantôt un échappement très doux, tantôt un échappement très violent. Le premier cas paraît le plus naturel. Du moment qu'on détend la vapeur jusqu'à la dernière limite ou à peu près, on ne l'envoie dans l'atmosphère qu'à une très faible pression et l'échappement doit être très doux. C'est bien ce qui a lieu, en général, et il en résulte que le tirage de la chaudière est insuffisant; d'où la nécessité de remédier à cet inconvénient par le serrage de la tuyère d'échappement. Les locomotives compound doivent donc avoir une tuyère d'échappement plus resserrée à certains moments que celle des locomotives ordinaires. Mais ce serrage ne peut être maintenu à toutes les allures, sous peine de tomber dans le défaut contraire. A mesure qu'on demande à une machine compound plus de travail, qu'on allonge les degrés d'admission surtout aux petits cylindres, que, par conséquent, la pression au réservoir intermédiaire augmente et qu'on expulse dans l'atmosphère de la vapeur en grande quantité et à une pression encore notable, l'échappement devient de plus en plus violent et il est nécessaire de desserrer la tuyère. Il faut nécessairement qu'une locomotive compound soit munie de l'échappement variable, et on peut même dire qu'à chaque allure de la machine correspond un certain serrage de la tuyère qui dépend des degrés d'introduction et de la vitesse. Il serait même utile, pour prévenir toute erreur de la part des mécaniciens dans la manœuvre de l'échappement variable, de munir la poignée de la tringle qui va à la tuyère d'échappement d'un curseur où seraient indiquées, comme au changement de marche, les diverses positions correspondant aux différentes ouvertures et aux différentes allures.

Compression dans les petits cylindres. — Il y a condensation de vapeur presque à partir du début de la compression. La courbe correspondant à cette phase se trouve donc au-dessous de la courbe de Mariotte et s'en éloigne de plus en plus à mesure qu'on arrive vers la fin de la course. La proportion de vapeur condensée par rapport à la vapeur présente fin échappement varie, suivant les cas, de 8 à 12 p. 100. Pour que la marche d'une machine soit bonne, il faut que la vapeur atteigne, à la fin de la compression, la pression qui règne dans la boîte du tiroir. Quand la compression est trop faible, la vapeur qui se trouve dans le cylindre n'est pas suffisamment réchauffée par le travail de la compression et les pertes de chaleur se trouvent augmentées. Il est vrai que la perte de travail, provenant de la compression, est moins forte, de sorte que finalement une compression un peu faible n'est pas trop désavantageuse, ne nuit pas à la bonne marche de la machine et n'influe, au fond, que très peu sur le rendement.

Il n'en est pas de même d'une compression exagérée, et c'est le cas qui est de beaucoup le plus fréquent dans la pratique à cause de la prévention qu'ont beaucoup d'ingénieurs contre les espaces neutres. La surcompression ne présente pas d'avantage bien sensible au point de vue des pertes de chaleur et elle diminue beaucoup le travail produit. Elle est l'ennemie des grandes vitesses, car elle s'exagère avec elles et alors les machines fonctionnent dans de très mauvaises conditions. Dans la machine compound du Nord, les espaces neutres des petits cylindres (12,6 p. 100 du volume) sont tout juste assez grands lorsqu'on marche avec le régulateur grand ouvert et avec des admissions supérieures ou au plus égales à 30 p. 100. La surcompression n'est pas bien forte, mais il y en a, tout de même, presque toujours. Il y en a surtout quand on marche avec le régulateur étranglé. Cela est d'autant plus nuisible que, pour l'éviter, il faut

s'attacher à ce que la pression au réservoir intermédiaire soit modérée, par suite, à ce que l'introduction aux grands cylindres soit longue, ce qui est contraire à l'économie.

Il serait donc préférable que la compression fût atténuée, ce qu'on peut obtenir soit par la modification des tiroirs, soit par l'agrandissement des espaces neutres. Il faut pourtant éviter de tomber dans le défaut contraire, parce qu'alors les espaces neutres deviendraient nuisibles et feraient perdre de la vapeur inutilement. Ce n'est que par une étude très attentive de la marche d'une machine qu'on peut résoudre convenablement la question. Il faut noter que l'augmentation du volume des espaces neutres ne doit pas, autant que possible, entraîner une augmentation de leur surface, ce qui aurait pour effet d'accroître les condensations. Mais il est facile d'augmenter le volume et non la surface en allongeant légèrement le cylindre sans changer la course du piston.

Compression dans les grands cylindres. — L'exagération de la compression, que nous avons signalée pour les petits cylindres, se manifeste d'une façon bien plus nette aux grands cylindres, où l'espace neutre est égal à 5,5 p. 100 du volume du cylindre. Ici, bien que la période de compression soit courte, parce qu'on a l'habitude d'adopter des degrés d'introduction élevés, il y a, surtout lorsque l'échappement est serré, presque toujours surcompression et elle est tout à fait exagérée aux grandes vitesses. Les espaces neutres sont, relativement au volume des cylindres, beaucoup plus petits qu'aux cylindres à haute pression. On améliorerait beaucoup la marche aux grandes vitesses en les augmentant convenablement.

Il y a dans les grands cylindres, comme aux petits, condensation de vapeur pendant la compression, et le poids de vapeur condensée varie de 20 à 30 p. 100 du

poids de vapeur présente fin échappement. Il faut d'ailleurs remarquer que ce dernier poids est relativement faible, ce qui explique l'élévation de la proportion de vapeur condensée. La condensation est indépendante du poids de vapeur sensible et dépend surtout des limites de la température, à la fin et au commencement de la compression. C'est pour cela qu'aux grands cylindres, la proportion de vapeur condensée est beaucoup plus élevée qu'aux petits.

Perte de pression au réservoir intermédiaire. — Nous avons vu plus haut que la pression au réservoir oscille entre certaines limites, que la courbe d'échappement au cylindre à haute pression est réglée par la limite supérieure et que la courbe d'admission au cylindre à basse pression est réglée par la limite inférieure. Il y a donc une chute ou une perte de pression inévitable, qui est égale à la variation de pression dans le réservoir. Il y aurait, par suite, intérêt à ce que cette variation fût aussi faible que possible. Elle dépend, et d'une manière très complexe, comme on l'a vu, des conditions de la marche ; mais elle dépend aussi du volume du réservoir et varie en raison inverse de ce volume. Il faut donc que le réservoir soit aussi grand que possible. D'ailleurs il n'y a pas beaucoup à craindre de développer la surface du réservoir en même temps que son volume, parce que les condensations de vapeur ont une faible valeur relative et que, au surplus, le réservoir, accolé à la chaudière, est toujours réchauffé sur une partie de sa surface.

19. Perte de pression entre les cylindres à haute et à basse pression.

On sait que, théoriquement, le travail d'une machine compound, à deux cylindres, est le même que si le cylindre

détendeur existait seul, la vapeur de la chaudière y étant admise directement et y subissant la détente totale.

Pour qu'il en fût ainsi, dans la réalité, il faudrait que, au grand cylindre, le volume d'admission fût égal au volume du petit cylindre et que la pression d'admission fût égale à celle qui régnerait dans le petit cylindre, à la fin de la course, si la détente continuait jusque-là. Il faudrait aussi qu'il n'y eût pas de laminage de la vapeur, ce qui occasionne une dépression à la fin de l'admission.

La dernière condition est irréalisable avec les distributions par tiroirs. On peut se rapprocher de la seconde, dans une certaine limite, c'est-à-dire, rendre minima la différence entre la pression de la vapeur à la fin de la détente dans le petit cylindre et entre la pression d'admission au grand cylindre.

Considérons la *fig.* 10, Pl. II. Les diagrammes en traits pleins correspondent aux admissions de 40 et 50 p. 100 et à la vitesse de trois tours par seconde (machine compound du Nord). La pression à la fin de la détente au cylindre à haute pression est de $7^{kg},7$. Si on supposait la courbe de détente prolongée jusqu'à la fin de la course, la pression finale serait de 6 kilogrammes. D'autre part, la pression d'admission au cylindre à basse pression est de 5 kilogrammes. Il y a donc une chute de pression apparente de $2^{kg},7$ et réelle de 1 kilogramme. En outre, pendant l'admission au grand cylindre, la pression s'abaisse de 5 kilogrammes à $3^{kg},8$. Il résulte de toutes ces circonstances que la courbe de détente $a'b'$ se trouve bien au-dessous de la courbe de détente théorique ab, et le travail perdu est mesuré par la surface $ab\,a'b'$. Cette perte de travail constitue le plus grave défaut des machines compound.

Nous donnons ci-après quelques valeurs des chutes de pression entre la fin de la détente au petit cylindre et le début de l'admission au grand.

PRESSION initiale à l'admission H. P.	ADMISSION au H. P.	ADMISSION au B. P.	VITESSE en tours par seconde	CHUTE de pression
kilogr.				kilogr.
14,6	40	50	3	2,7
14,6	40	40	3	2,1
14,6	30	50	3	2,4
14,6	30	50	4	2,4
14,6	30	50	5	2,3
12,0	30	50	4	1,8
12,0	30	40	4	1,1
14,6	50	50	3	3,0
14,6	40	50	2	3,25
11,0	45	55	4	4,6

D'après ce tableau, pour une même pression initiale et une même durée d'admission au cylindre HP, la chute de pression diminue quand la pression au réservoir intermédiaire augmente. Cela se conçoit facilement. La partie du diagramme du cylindre à haute pression, correspondant à l'admission et à la détente, ne dépend que de la pression initiale et de la durée de l'admission au cylindre HP, et, cette pression initiale et cette durée restant fixes, ne change pas quand la pression au réservoir varie. Par suite la différence entre la pression finale de la détente au HP, qui reste constante, et la pression au réservoir est d'autant moindre que cette dernière est plus élevée. Il faut donc s'attacher à ce que la pression au réservoir soit aussi grande que possible et, pour cela, il n'y a que deux moyens : ou diminuer la durée d'admission au cylindre à basse pression, ou diminuer le volume de ce cylindre.

Mais ces conclusions, qui, au premier abord, paraissent définitives, ne doivent pas être admises sans réserves, comme va le démontrer l'analyse détaillée des faits.

Comparons, en effet, les diagrammes correspondant à des admissions :

1° HP — 40 p. 100, BP — 50 p. 100,
2° HP — 40 p. 100, BP — 40 p. 100,

pour une même vitesse de trois tours par seconde (le premier est en traits pleins sur la *fig.* 10, le second en ponctué). Au cylindre HP, l'admission et la détente sont identiques dans les deux cas. La pression au réservoir est, pour le premier, de 5 kilogrammes, pour le deuxième, de $5^{kg},6$, et les chutes de pression sont respectivement $2^{kg},7$ et $2^{kg},1$. Malgré que la chute de pression ait été diminuée dans le second diagramme, celui-ci ne présente aucun avantage appréciable sur le premier. En effet l'admission au BP finit en a'_1 et la courbe de détente est $a'_1 b'_1$, au-dessous de la courbe de détente du premier diagramme et par suite plus éloignée qu'elle de la courbe de détente théorique ab. Ainsi la diminution de la chute de pression aboutit à un résultat contraire à celui qu'on pouvait espérer. Il y a lieu de remarquer que la surface du diagramme BP n° 2 est, au fond, très peu inférieure à celle du diagramme BP n° 1.

Supposons maintenant qu'on modifie le rapport des volumes des cylindres. On augmentera la pression au réservoir soit en diminuant le volume du cylindre à basse pression, soit en augmentant celui du cylindre à haute pression. C'est ce dernier cas que nous allons envisager, et nous admettrons que le volume du cylindre à haute pression est augmenté de 1/10, sans qu'il y ait rien de changé au cylindre à basse pression. Le diagramme n° 3 (*fig.* 10, Pl. II) correspond aux mêmes admissions et à la même vitesse que le diagramme n° 1. Il coïncide, pour l'admission et la détente au cylindre HP, avec les diagrammes n^{os} 1 et 2 ; mais il faut remarquer que l'échelle des abscisses n'est plus la même puisque la longueur, qui correspondait auparavant au volume du petit cylindre, correspond maintenant à ce même volume augmenté de 1/10. C'est pour cela que le diagramme BP n° 3 (qui est à la même échelle que le diagramme HP n° 3) paraît avoir une longueur moindre que le diagramme BP n° 1.

La pression au réservoir est augmentée de $0^{kg},25$. La courbe de détente $a'_2 b'_2$ est un peu plus rapprochée que $a'b'$ de la courbe théorique ab. Il y a une légère amélioration du rendement, qui est de $8^{kg},7$ par cheval-heure, au lieu de $8^{kg},816$, pour le diagramme n° 1.

Le bénéfice obtenu est faible, sans être cependant négligeable.

A mesure qu'on augmente le volume du petit cylindre, le point a'_2, qui est d'abord au-dessus de la courbe de détente $a'b'$, passe au-dessous d'elle. La perte de travail diminue donc, au début, pour croître de nouveau ensuite et son minimum se produit, à peu de chose près, lorsque le volume d'admission au grand cylindre est égal au volume du petit cylindre.

Au fond, les deux moyens de faire varier la pression au réservoir reviennent absolument au même et aucun n'a pour résultat de diminuer sensiblement la perte de pression entre les deux cylindres. Cette perte est donc inévitable. Elle dépend de la dépression à la fin de l'admission au grand cylindre et de l'importance des condensations de vapeur, qui ont toujours une valeur plus élevée au grand cylindre qu'au petit. La perte est minima au point critique, c'est-à-dire lorsque le volume de vapeur admise au grand cylindre est égal au volume du petit cylindre.

La variation du volume des cylindres n'a, en définitive, aucune influence sur la chute de pression.

20. Influence du rapport du volume des cylindres sur le rendement.

La discussion précédente nous renseigne sur quelques-uns des avantages ou des inconvénients que présente un rapport donné entre les volumes des cylindres. Nous voyons, en effet, qu'il est défavorable, au point de vue de l'économie, d'avoir au grand cylindre un volume

de pleine admission sensiblement différent, soit en plus, soit en moins, du volume du petit cylindre. Il y a donc une admission moyenne au grand cylindre, qui doit correspondre à un cran de marche facile au point de vue de la distribution, par exemple, à 45 ou 50 p. 100 d'admission.

Pour la locomotive du Nord, l'admission usuelle est de 50 p. 100 et on ne descend que très rarement au-dessous. L'admission, correspondant exactement au volume du petit cylindre, serait de 41,3 p. 100. Donc, étant donné que, à cause de la distribution, le cran de marche, 41,3 p. 100, est plus défavorable que celui de 50 p. 100, il est certain qu'au point de vue de la chute de pression entre les cylindres, le volume du cylindre à basse pression est un peu trop grand.

Dans la pratique, on se sert exclusivement, au grand cylindre, d'admissions très longues, au moins égales à 50 p. 100. Il y a à cela deux raisons. La première, c'est qu'avec ces admissions les inconvénients des distributions par tiroirs sont très atténués. La durée de l'échappement anticipé ainsi que celle de la compression sont courtes, et ce dernier point est avantageux, surtout aux grandes vitesses.

La seconde raison, c'est qu'on cherche à se conformer au principe relatif au point critique, qu'a mis en évidence M. Mallet et qui peut se résumer ainsi : Le cylindre détendeur devant toujours pouvoir débiter la vapeur qui provient du cylindre admetteur sans occasionner dans ce dernier une contre-pression nuisible, le volume de vapeur admise au second cylindre ne doit pas être inférieur au volume du premier cylindre. Cette admission minima constitue le point critique.

Ce principe n'est pas complètement exact, parce que la dépense du cylindre détendeur est loin d'être égale à la quantité de vapeur qui se trouve dans le cylindre admetteur, à fond de course. Rien ne s'oppose, en réalité, à ce que le degré d'introduction, au grand cylindre, soit au-dessous du point critique. Seulement les degrés d'introduction trop faibles présentent plus d'inconvénients que les degrés d'introduction trop élevés. On a vu plus haut qu'une admission de 40 p. 100 au grand cylindre (un peu inférieure au rapport des volumes, qui est $\frac{1}{2,42}$, soit 41,3 p. 100) est tout aussi économique qu'une admission de 50 p. 100.

L'habitude, entrée dans la pratique, de combiner les grands cylindres et leurs distributions de façon à ne marcher qu'avec des admissions de 50 à 60 p. 100 présente des inconvénients, provenant de ce que le travail effectué par une locomotive doit être variable. En effet, quand on a à produire un travail considérable, les longues admissions aux deux cylindres sont nécessaires, cela est évident; mais si, pour un travail modéré, exigeant une faible dépense de vapeur, on conserve toujours la même longueur d'admission au grand cylindre, la pression dans le réservoir intermédiaire devient faible, le grand cylindre travaille dans de mauvaises conditions et le rendement est diminué. On est obligé, alors, d'étrangler la vapeur au régulateur et on n'utilise plus la haute pression de la chaudière, principale et même unique raison d'être des machines compound.

Ainsi, il ne faudrait pas s'astreindre à marcher, dans tous les cas, avec des admissions aux grands cylindres supérieures à 50 p. 100. Il est nécessaire d'ajouter que la modification du réglage de la distribution et des espaces neutres serait la conséquence nécessaire de la réduction de l'admission.

Le motif principal qui conduit à donner au cylindre à basse pression un grand volume est de faire une détente aussi complète que possible. Mais il ne faut pas avoir

en vue le cas extrême où la machine fournit le travail maximum, sinon elle manque de souplesse et travaille d'une façon médiocre quand elle fournit un travail modéré. Il y a, en outre, un point qu'il ne faut pas perdre de vue : c'est que la vapeur évacuée dans l'atmosphère pendant l'échappement anticipé doit toujours être à une pression suffisante pour qu'il n'y ait pas aspiration des gaz de la boîte à fumée. Il y a donc une limite pratique à la détente.

D'un autre côté le volume du cylindre à basse pression doit être assez grand pour éviter les tirages trop violents. Il est vrai que, pour arriver à ce résultat, il y a un autre moyen : l'augmentation de la section d'échappement. On trouve, à prendre cette dernière mesure, cet autre avantage, que la contrepression est moins grande pendant l'échappement proprement dit.

L'examen des condensations de vapeur conduit aussi à la conclusion qu'il ne faut pas exagérer le volume du grand cylindre. En effet les condensations sur les surfaces couvercle, qui ont une valeur bien supérieure (double ou triple suivant les cas) à celle des condensations sur la surface cylindrique, sont proportionnelles au carré du diamètre du cylindre. Dès lors il est nuisible que ce diamètre soit trop grand.

Un des avantages des machines compound, c'est que les condensations de vapeur y sont moins importantes que dans les machines monocylindriques. Cela provient de ce que ces condensations sont une fonction croissante de la différence entre les températures extrêmes de la vapeur et que, dans les machines compound, la différence entre la température de la chaudière et celle de l'atmosphère se trouve partagée en deux parties, à peu près égales, le plus souvent. La différence entre les températures extrêmes dans chaque cylindre pris séparément est ainsi moitié moindre que s'il n'y avait qu'un cylindre. Il est nécessaire de remarquer, si on veut

évaluer les pertes de vapeur, que les condensations dans chaque cylindre, HP et BP, ne s'ajoutent pas, puisque ce qui est condensé au petit cylindre se revaporise presque en totalité et qu'ainsi la quantité de vapeur sensible qui entre à chaque coup de piston dans le petit cylindre entre, aussi à l'état de vapeur sensible, dans le grand cylindre.

Dans une locomotive compound, il y a lieu aussi de tenir compte de la valeur relative des travaux effectués dans chaque groupe de cylindres. On ne peut pas réaliser entièrement, dans tous les cas, la condition d'égalité de ces travaux et il n'y a même pas grand intérêt à le faire si on munit les roues motrices de bielles d'accouplement. Mais bien que ce soit là la vraie solution de la question, il faut s'efforcer de ne pas avoir des travaux trop différents dans les grands et dans les petits cylindres.

D'après toutes les explications que nous donnons ci-dessus, on voit qu'il ne peut exister de règle simple pour calculer le rapport des volumes des cylindres d'une machine compound. Ce rapport dépend de conditions très complexes et ne peut être trouvé que par tâtonnements. Il faut qu'il soit tel que, dans les conditions les plus fréquentes de la marche, le rendement soit maximum.

CHAPITRE V.

EFFETS DE L'INERTIE DES PIÈCES EN MOUVEMENT RELATIF DANS LES MACHINES COMPOUND.

---

21. Réactions verticales et horizontales. Mouvement de lacet.

La stabilité des locomotives est une question primordiale. Pour pouvoir marcher à de grandes vitesses, sans

que la voie ferrée subisse des efforts exagérés, les machines doivent être à la fois légères et puissantes, et les mouvements parasites, dus à l'inertie des pièces en mouvement relatif, doivent être atténués autant que possible. On a depuis longtemps proposé (voir le *Cours de chemins de fer* de Couche, t. II, p. 387) d'opposer à chacune des masses (manivelle, bielle, piston) animées d'un mouvement relatif, pour annuler les mouvements parasites, une masse égale animée du même mouvement en sens contraire. Cette condition est, à peu près, réalisée dans la locomotive compound à quatre cylindres, dont deux sont placés à l'intérieur des longerons et deux à l'extérieur.

Nous allons calculer pour une telle machine les effets de l'inertie des pièces en mouvement relatif.

Parmi toutes les méthodes employées pour calculer ces effets (*), la plus simple est celle qui consiste à chercher les conditions nécessaires pour que les mouvements accessoires soient nuls. Il faut, pour cela, que les termes qui s'ajoutent dans les quantités de mouvement des essieux moteurs se détruisent mutuellement, c'est-à-dire que :

1° Les sommes des quantités de mouvement, projetées sur trois axes rectangulaires, des pièces en mouvement relatif, aient des dérivées nulles ;

2° Les dérivées des moments des quantités de mouvement, par rapport à trois axes rectangulaires, soient aussi nulles.

On sait, d'ailleurs, qu'il faut prendre les moments par rapport à des axes fixes ou passant par le centre de

(*) La méthode d'exposition de l'étude des mouvements parasites est extraite du cours de chemins de fer professé à l'École des mines de Paris, par M. Vicaire, Ingénieur en chef des mines, qui a bien voulu m'aider de ses conseils dans la rédaction du chapitre tout entier.

gravité. Mais, si les dérivées de la somme des projections sont nulles, on peut prendre des axes quelconques pour calculer les moments.

Les mouvements accessoires sont périodiques et peuvent être décomposés en un mouvement de translation et un mouvement de rotation qu'on rapportera à trois axes rectangulaires dont l'un sera parallèle à la voie, l'autre perpendiculaire à la voie dans le plan horizontal, le troisième vertical. Le mouvement parallèle à la voie est un mouvement de recul ou de va-et-vient. Le mouvement de translation verticale est presque nul, mais il occasionne des réactions sur la voie très variables. Le mouvement transversal à la voie peut être considéré comme nul.

Le mouvement de rotation autour de l'axe horizontal parallèle à la voie est le roulis ; autour de l'axe horizontal perpendiculaire au précédent, le tangage ou le galop ; autour de l'axe vertical, le lacet. Ces deux derniers mouvements sont les plus importants.

D'après les conditions énoncées plus haut, on doit avoir, pour les pièces en mouvement relatif (les axes coordonnés étant supposés passer par le centre de gravité de la machine) :

$$\sum m\frac{dv_x}{dt}=0 \qquad \frac{d}{dt}\Sigma\,\text{Moment}\,mv_x=0$$

$$\sum m\frac{dv_y}{dt}=0 \qquad \frac{d}{dt}\Sigma\,\text{Moment}\,mv_y=0$$

$$\sum m\frac{dv_z}{dt}=0 \qquad \frac{d}{dt}\Sigma\,\text{Moment}\,mv_z=0$$

La première condition, $\sum m\frac{dv_x}{dt}=0$, entraîne : $\Sigma m v_x =$ constante. Si x est l'abscisse d'un point quelconque, cela revient à :

$$\sum m\frac{dx}{dt}=\text{constante}$$

ou

$$\Sigma mx = Ct + C'.$$

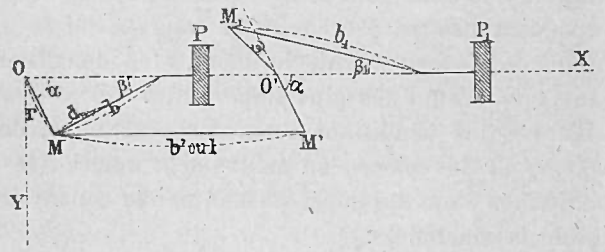
Puisque le centre de gravité des pièces revient, au bout d'un certain temps, à la même position, $C = 0$. On a donc :

$$\Sigma mx = \text{constante}.$$

Il en est de même des autres équations ; d'où il résulte que le centre de gravité doit occuper une position invariable.

Nous allons calculer à chaque instant la position du centre de gravité de l'ensemble des pièces mobiles.

Considérons une machine à quatre cylindres et à deux essieux moteurs. Nous supposons les cylindres horizontaux et les courses des pistons égales.



Soient :

M, M_1, M', les poids des manivelles OA, $O'A_1$ et O'A' (manivelle de la bielle d'accouplement), dont la longueur commune est r;

B, B_1, B', les poids des bielles;

P, P_1, ceux des pistons avec leurs tiges;

a, a_1, a', les distances des centres de gravité des manivelles au point O pour la première, au point O' pour les deux autres;

b, b_1, b', les longueurs des bielles;

d, d_1, les distances du centre de gravité des bielles B et B_1 aux points A et A_1, têtes des manivelles;

α, l'angle de manivelle à un moment quelconque;

ω, l'angle constant que fait la manivelle M_1 avec le prolongement de la manivelle M';

β et β_1, les angles que font les bielles avec l'axe horizontal.

Les valeurs de $g\Sigma mx$ pour chacune des pièces mobiles sont les suivantes, en négligeant les termes constants :

Manivelle	M	$Ma\cos\alpha$
—	M'	$M'a'\cos\alpha$
—	M_1	$-M_1a_1\cos(\alpha-\omega)$
Bielle	B	$B(r\cos\alpha + d\cos\beta)$
—	B'	$B'r\cos\alpha$
—	B_1	$B_1[d_1\cos\beta_1 - r\cos(\alpha\omega)]$
Piston	P	$P(r\cos\alpha + b\cos\beta)$
—	P_1	$P_1[b_1\cos\beta_1 - r\cos(\alpha-\omega)]$.

On a donc pour l'ensemble des pièces mobiles et pour un côté de la machine :

$$\begin{aligned} g\Sigma mx = {} & [Ma + M'a' + (B + B' + P)r]\cos\alpha \\ & - [M_1a_1 + (B_1 + P_1)r]\cos(\alpha-\omega) + (Bd + Pb)\cos\beta \\ & + (B_1d_1 + P_1b_1)\cos\beta. \end{aligned}$$

Pour l'autre côté de la machine, où les manivelles sont calées à 90°, il n'y a qu'à remplacer dans l'expression ci-dessus $\cos\alpha$ et $\cos(\alpha-\omega)$ par $-\sin\alpha$ et $-\sin(\alpha-\omega)$ et $\cos\beta$, $\cos\beta_1$ par $\cos\beta'$, $\cos\beta_1'$.

On a finalement pour l'ensemble des pièces mobiles :

$$\begin{aligned} (1)\quad g\Sigma mx = {} & [Ma + M'a' + (B + B' + P)r](\cos\alpha - \sin\alpha) \\ & - [M_1a_1 + (B_1 + P_1)r][\cos(\alpha-\omega) - \sin(\alpha-\omega)] \\ & + (Bd + Pb)(\cos\beta + \cos\beta') + (B_1d_1 + P_1b_1)(\cos\beta_1 \\ & + \cos\beta_1'). \end{aligned}$$

Calculons de même $g\Sigma my$.

On a pour chaque pièce les valeurs suivantes :

Manivelle	M	$Ma\sin\alpha$
—	M'	$M'a'\sin\alpha$
—	M_1	$M_1a_1\sin(\alpha-\omega)$
Bielle	B	$B(r\sin\alpha - d\sin\beta)$
—	B'	$B'r\sin\alpha$
—	B_1	$B_1[r\sin(\alpha-\omega) - d\sin\beta]$.

Or, $\sin\beta = \frac{r}{b}\sin\alpha$ et $\sin\beta_1 = \frac{r}{b_1}\sin(\alpha-\omega)$.

En remplaçant $\sin\beta$ et $\sin\beta_1$ par leurs valeurs, on a, pour un côté de la machine :

$$g\sum my = \left[Ma + M'a' + Br\left(1-\frac{d}{b}\right) + B'r\right]\sin\alpha - \left[M_1a_1 + B_1r\left(1-\frac{d_1}{b_1}\right)\right]\sin(\alpha-\omega).$$

Pour l'autre côté de la machine, il suffit de remplacer $\sin\alpha$ par $\cos\alpha$.

On a donc pour l'ensemble des pièces mobiles :

$$(2)\quad g\sum my = \left[Ma + M'a' + Br\left(1-\frac{d}{b}\right) + B'r\right]\sin\alpha + \cos\alpha) - \left[M_1a_1 + B_1r\left(1-\frac{d_1}{b_1}\right)\right][\sin(\alpha-\omega) + \cos\alpha-\omega)].$$

Cette expression s'applique aux deux essieux moteurs. Il y a intérêt à savoir quelle est la valeur de $g\Sigma my$ pour chaque essieu. On a ainsi, en répartissant sur chaque tête de manivelle le poids de la bielle d'accouplement :

$$(3)\quad \begin{cases} \text{(Essieu O)}\ g\sum my = \left[Ma + Br\left(1-\frac{d}{b}\right) + \frac{B'}{2}r\right](\sin\alpha + \cos\alpha) \\ \text{(Essieu O')}\ g\sum my = \left(M'a' + \frac{B'}{2}r\right)\sin\alpha + \cos\alpha) - \left[M_1a_1 + B_1r\left(1-\frac{d_1}{b_1}\right)\right][\sin(\alpha-\omega) + (\cos(\alpha-\omega)]. \end{cases}$$

Si on peut rendre constantes les expressions (1) et (2), l'ensemble des pièces en mouvement relatif ne produira ni réactions horizontales, ni réactions verticales.

Si on peut rendre constante chacune des expressions (3), il n'y aura de réactions verticales pour aucun des essieux moteurs.

Équilibre vertical et équilibre horizontal dans le cas où les manivelles motrices sont calées à 180°.

Supposons d'abord que les manivelles motrices M et M_1 soient calées exactement à 180° l'une de l'autre. Alors $\omega = 0$.

La condition pour que l'expression (2) soit constante est :

$$(4)\quad 0 = Ma + M'a' + Br\left(1-\frac{d}{b}\right) + B'r - \left[M_1a_1 + B_1r\left(1-\frac{d_1}{b_1}\right)\right]$$

ou, en posant :

$$A = Ma + M'a' + Br\left(1-\frac{d}{b}\right) + B'r$$
$$A_1 = M_1a_1 + B_1r\left(1-\frac{d_1}{b_1}\right),$$
$$0 = A - A_1.$$

Cherchons si, cette condition étant remplie, on peut avoir en même temps : $g\Sigma mx =$ constante.

On a, pour $\omega = 0$:

$$gm\Sigma x = \left\{Ma + M'a' + (B+B'+P)r - [M_1a_1 + (B_1P_1)r]\right\}(\cos\alpha - \sin\alpha) + (Bd + Pb)(\cos\beta + \cos\beta') + (B_1d_1 + P_1b_1)(\cos\beta_1 + \cos\beta'_1).$$

Or, d'après l'équation (4) :

$$Ma + M'a' - M_1a_1 = B_1r\left(1-\frac{d_1}{b_1}\right) - B'r\left(1-\frac{d}{b}\right) - B'r.$$

En portant cette valeur dans l'expression de $g\Sigma mx$, il vient :

$$g\sum mx = \left[\left(B\frac{d}{b} + P\right)r - \left(B_1\frac{d_1}{b_1} + P_1\right)r\right](\cos\alpha - \sin\alpha) + (Bd + Pb)(\cos\beta + \cos\beta') + (B_1d_1 + P_1b_1)(\cos\beta + \cos\beta'_1).$$

Or, l'expression :

$$(Bd + Pb)(\cos\beta + \cos\beta') + (B_1d_1 + P_1b_1)(\cos\beta_1 + \cos\beta'_1)$$

est sensiblement constante, si, comme cela a toujours lieu en pratique, r est petit par rapport à b.

En effet, on a :

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{r^2}{b^2}\sin^2\alpha} = 1 - \frac{1}{2}\frac{r^2}{b^2}\sin^2\alpha,$$

en négligeant les termes en $\frac{r^4}{b^4}$.

De même :

$$\cos\beta' = 1 - \frac{1}{2}\frac{r^2}{b^2}\cos^2\alpha,$$

donc :

$$\cos\beta + \cos\beta' = 2 - \frac{1}{2}\frac{r^2}{b^2}.$$

Ainsi, pour que $g\Sigma mx$ soit constant, il suffit que le facteur de $(\cos\alpha - \sin\alpha)$ soit nul. On a, alors :

$$(5) \qquad 0 = (\mathrm{B}d + \mathrm{P}b)\frac{r}{b} - (\mathrm{B}_1 d_1 + \mathrm{P}_1 b_1)\frac{r}{b_1} = \mathrm{A}' - \mathrm{A}'_1.$$

Les deux conditions (4) et (5) sont compatibles. Elles peuvent être réalisées simultanément sans qu'il soit nécessaire, théoriquement, d'avoir recours à des contrepoids.

Si on veut réaliser l'équilibre vertical pour chacun des essieux moteurs, il faut se reporter aux équations (3) et poser :

$$(6) \qquad \begin{cases} \mathrm{M}a + \mathrm{B}r\left(1 - \dfrac{d}{b}\right) + \dfrac{\mathrm{B}'}{2}r = 0 \\ \mathrm{M}'a' + \dfrac{\mathrm{B}'}{2}r - \left[\mathrm{M}_1 a_1 + \mathrm{B}_1 r\left(1 - \dfrac{d_1}{b_1}\right)\right] = 0. \end{cases}$$

Ces deux conditions sont compatibles. Mais leur réalisation exige l'application de contrepoids, tout au moins à l'essieu O, de façon à rendre a négatif.

L'équilibre horizontal ne dépend que des bielles et des pistons. Il est bien plus facile à réaliser que l'équilibre

vertical et ne nécessite aucune espèce de contrepoids. Il suffit de déterminer d'une façon convenable les poids des pistons et celui des bielles. Or, ces poids, on peut les faire varier à peu près à volonté.

Cas où les manivelles motrices ne sont pas calées à 180°. Équilibre vertical.

Nous avons supposé, dans ce qui précède, que $\omega = 0$. Il y a avantage à ce qu'il n'en soit pas ainsi, afin que les machines puissent démarrer facilement dans toutes les positions. Dans les locomotives compound du Nord, $\omega = 18°$; dans celles du chemin de fer de Lyon, $\omega = 45°$.

Nous allons examiner ce qui se passe lorsque ω n'est pas nul.

Dans les valeurs de $g\Sigma my$ et de $g\Sigma mx$ entrent les expressions :

$$\sin(\alpha - \omega) + \cos(\alpha - \omega)$$

et

$$\cos(\alpha - \omega) - \sin(\alpha - \omega).$$

Développons la première. On a :

$$\begin{aligned} \sin(\alpha - \omega) + \cos(\alpha - \omega) &= \sin\alpha\cos\omega - \cos\alpha\sin\omega + \cos\alpha\cos\omega \\ &\quad + \sin\alpha\sin\omega = \sin\alpha(\cos\omega + \sin\omega) + \cos\alpha(\cos\omega - \sin\omega) \\ &= m\sin\alpha + n\cos\alpha, \end{aligned}$$

en posant :

$$\begin{aligned} \cos\omega + \sin\omega &= m \\ \cos\omega - \sin\omega &= n. \end{aligned}$$

De même, on a :

$$\cos(\alpha - \omega) - \sin(\alpha - \omega) = m\cos\alpha - n\sin\alpha.$$

Si ω est plus petit que 45°, les deux coefficients m et n sont positifs. Pour $\omega = 45°$, $n = 0$. Lorsque ω a une faible valeur, m est un peu plus grand et n un peu plus petit que l'unité.

La valeur de $g\Sigma my$ est la suivante :

$$g\Sigma my = A(\sin\alpha + \cos\alpha) - A_1(m\sin\alpha + n\cos\alpha)$$
$$= (A - A_1 m)\sin\alpha + (A - A_1 n)\cos\alpha.$$

Pour que cette quantité fût constante, il faudrait que sa dérivée fût nulle pour une valeur quelconque de α, c'est-à-dire que :

$$(A - A_1 m)\cos\alpha - (A - A_1 n)\sin\alpha = 0.$$

Cette quantité ne peut être nulle, quel que soit α, que si :

$$\begin{cases} A - A_1 m = 0 \\ A - A_1 n = 0, \end{cases}$$

ou bien :

$$(7) \qquad \begin{cases} 0 = A = Ma + M'a' + Br\left(1 - \dfrac{d}{b}\right) + B'r \\ 0 = A_1 = M_1 a_1 + B_1 r\left(1 - \dfrac{d_1}{b_1}\right). \end{cases}$$

Ces deux conditions sont compatibles. On peut donc réaliser l'équilibre vertical par l'application de contre-poids.

Cherchons si on pourrait réaliser l'équilibre vertical pour chacun des essieux moteurs.

On a :

$$\text{(Essieu O)}\; g\sum my = \left[Ma + Br\left(1 - \frac{d}{b}\right) + \frac{B'r}{2}\right](\sin\alpha + \cos\alpha)$$

$$\text{(Essieu O')}\; g\sum my = \left(M'a' + \frac{B'r}{2}(\sin\alpha\cos\alpha)\right.$$
$$\left. - \left[M_1 a_1 + B_1 r\left(1 - \frac{d_1}{b_1}\right)\right](m\sin\alpha + n\cos\alpha).\right.$$

Pour l'équilibre de l'essieu O, il faudrait avoir :

$$(8) \qquad Ma + Br\left(1 - \frac{d}{b}\right) + \frac{B'r}{2} = 0.$$

Pour l'équilibre de l'essieu O', il faudrait avoir simultanément :

$$(9) \qquad \begin{cases} M'a' + \dfrac{B'r}{2} = 0 \\ M_1 a_1 + B_1 r\left(1 - \dfrac{d_1}{b_1}\right) = 0. \end{cases}$$

Les trois conditions (8) et (9) sont compatibles entre elles et, pour les réaliser, il suffit que les valeurs de a, a' et a_1 soient négatives.

L'équilibre vertical est donc toujours possible.

Équilibre horizontal.

On sait que, pour obtenir l'équilibre horizontal, il faudrait rendre constante la valeur ci-après :

$$(10) \qquad g\Sigma mx = [Ma + M'a' + (B + B' + P)r](\cos\alpha - \sin\alpha)$$
$$- [M_1 a_1 + (B_1 + P_1)r]\, m\cos\alpha - n\sin\alpha).$$

Cette valeur ne peut pas être constante, quel que soit α, à moins qu'on n'ait simultanément :

$$(11) \qquad \begin{cases} Ma + M'a' + (B + B' + P)r = 0 \\ M_1 a_1 + (B_1 + P_1)r = 0. \end{cases}$$

Ces deux conditions sont compatibles entre elles. Mais elles ne le sont pas avec celles de l'équilibre vertical ; car, dans le cas où ces dernières sont satisfaites, les deux équations (11) deviennent :

$$Bd + Pb = 0$$
$$B_1 d_1 + P_1 b_1 = 0.$$

Il est donc impossible de réaliser à la fois les deux équilibres et on en est réduit, comme dans les locomotives non compound, à adopter un moyen terme. Mais la compensation se fait beaucoup mieux dans les machines compound que dans les autres et, en outre, le poids des bielles et des manivelles est bien moindre.

Influence de l'angle que font entre elles les manivelles motrices.

Posons :

$$M\alpha + M'\alpha' + (B + B' + P)r = \Delta$$
$$M_1\alpha_1 + (B_1 + P_1)r = \Delta_1.$$

L'équation (10) s'écrit :

$$g\Sigma mx = (\Delta - \Delta_1 m)\cos\alpha - (\Lambda - \Delta_1 n)\sin\alpha.$$

La valeur de $g\Sigma mx$ est nulle pour $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{\Delta - \Delta_1 m}{\Delta - \Delta_1 n}$, et maxima pour $\operatorname{tg}\alpha = -\dfrac{\Delta - \Delta_1 n}{\Delta - \Delta_1 m}$. Elle oscille donc (en valeur absolue) entre les deux quantités qu'on obtient en remplaçant $\operatorname{tg}\alpha$ par les valeurs ci-dessus et moins la valeur maxima de $g\Sigma mx$ sera grande, plus on se rapprochera de l'équilibre horizontal.

Cette valeur maxima est :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{\Delta - \Delta_1 n}{\Delta - \Delta_1 m}\right)^2}}\left[\Delta - \Delta_1 m + \frac{(\Delta - \Delta_1 n)^2}{\Delta - \Delta_1 m}\right]$$
$$= \sqrt{(\Delta - \Delta_1 m)^2 + (\Delta - \Delta_1 n)^2},$$

ou, en remplaçant m et n par leurs valeurs en fonction de ω :

$$\mu = \sqrt{2(\Delta^2 + \Delta_1^2) - 4\Delta\Delta_1\cos\omega}.$$

Cette valeur de μ est de plus en plus petite à mesure que ω diminue.

Elle représente le maximum de la somme des forces perturbatrices dans le sens horizontal, comme il est facile de le voir en calculant la valeur de :

$$\sum Fx = \sum m\frac{d^2x}{dt^2}.$$

De sorte que les forces perturbatrices oscillent entre $-\dfrac{\mu}{g}$ et $+\dfrac{\mu}{g}$.

Si on pose : $\cos\omega = 1 - \varepsilon$, on a :

$$\mu = \sqrt{2(\Delta^2 + \Delta_1^2) - 4\Delta\Delta_1 + 4\Delta\Delta_1\varepsilon} = \sqrt{2(\Delta - \Delta_1)^2 + 4\Delta\Delta_1\varepsilon}.$$

Pour que μ soit aussi petit que possible, il faut :

1° Que $\Delta - \Delta_1 = 0$, ce qui est toujours réalisable et compatible avec l'équilibre vertical ;

2° Que $\varepsilon = 1 - \cos\omega$ soit aussi petit que possible, c'est-à-dire que ω se rapproche de zéro.

Dans la locomotive compound de la compagnie du Nord, $\omega = 18°$; d'où :

$$\cos\omega = 1 - \varepsilon = 1 - 0{,}049.$$

Dans celle de la compagnie de Lyon, $\omega = 45°$; d'où :

$$\cos\omega = 1 - \varepsilon = 1 - 0{,}293.$$

Donc, en supposant que, dans chacune de ces locomotives, on ait : $\Delta - \Delta_1 = 0$, le maximum des forces perturbatrices horizontales est :

Dans la première . . . . . $2\Lambda\sqrt{0{,}049}$,
Dans la seconde. . . . . $2\Delta\sqrt{0{,}293}$.

Ce qui donne la proportion de 1 à 2,44 (dans l'hypothèse, bien entendu, où la valeur de Δ est la même pour les deux locomotives dont il s'agit).

On voit que la locomotive compound de la compagnie de Lyon est, par le seul fait de l'exagération de l'angle ω, beaucoup moins avantageuse que celle de la compagnie du Nord, au point de vue de l'atténuation des forces perturbatrices.

Influence de l'angle ω sur la puissance du démarrage.

On cale les manivelles motrices à un angle différent de 180°, pour que le démarrage s'effectue facilement dans toutes les positions. De cette façon, en effet, les manivelles des cylindres à haute et à basse pression, d'un même côté de la machine, ne peuvent jamais être simultanément au point mort. Plus grand est l'angle ω, plus il semble qu'une machine doive démarrer facilement dans la position la plus défavorable des manivelles. Pour nous rendre compte de cette influence, nous allons chercher l'effort que peut développer la machine du Nord, dans la position la plus défavorable, d'abord pour $\omega = 18°$ (comme cela a lieu en réalité), puis pour $\omega = 45°$ (comme dans la machine du chemin de fer de Lyon).

On sait qu'en vue de faciliter les démarrages, la machine du Nord est pourvue d'un appareil permettant l'échappement direct de la vapeur sortant des petits cylindres dans la tuyère d'échappement; de sorte que les petits et les grands cylindres peuvent fonctionner comme deux machines indépendantes, les premiers à la pression de 14 kilogrammes, les seconds à celle de 6 kilogrammes effectifs. On peut également admettre directement la vapeur de la chaudière dans le réservoir intermédiaire, à la pression maxima de 6 kilogrammes, tout en conservant le fonctionnement compound.

Dans la machine de la compagnie de Lyon, ce dernier système existe seul. Il faut d'ailleurs reconnaître que le fonctionnement en machines indépendantes, obtenu à l'aide d'un appareil compliqué, est de peu d'utilité en pratique.

Dans la machine du Nord, la surface du piston du cylindre à haute pression étant de $0^{m2},09079$, l'effort

exercé sur ce piston par la vapeur à pleine pression est :

$$140.000^{ks} \times 0,09079 = 12.710^{ks},6.$$

De même, l'effort exercé sur le piston du cylindre à basse pression, dont la surface est de $0^{m2},2205$, par la vapeur du réservoir intermédiaire dont la pression effective est de 6 kilogrammes, est :

$$60.000 \times 0^{m2},2205 = 13.230 \text{ kilogrammes.}$$

Si on appelle F l'effort exercé sur le piston, β l'angle de la bielle motrice avec la direction de la tige du piston, c'est-à-dire avec une ligne horizontale, et α l'angle de manivelle, l'effort f, qui tend à faire tourner la manivelle, a pour expression :

$$f = F \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}.$$

La position la plus défavorable d'une machine qui démarre, c'est lorsque l'une des manivelles motrices n'est pas tout à fait arrivée au point mort et que, par suite de l'avance à l'admission, un effort en sens inverse de la marche est exercé sur cette manivelle. Dans la machine compound qui nous occupe, le cas le plus désavantageux est celui où cette circonstance se produit pour la manivelle d'un des cylindres à basse pression, parce que, comme on l'a vu plus haut, l'effort exercé sur les pistons de ces derniers est supérieur à celui exercé sur les pistons des cylindres à haute pression.

Supposons donc que la manivelle motrice du cylindre à basse pression, côté droit, se trouve à 8° en avant du point mort. L'admission anticipée se produit un peu avant, quand le degré d'introduction est de 70 p. 100.

La manivelle du cylindre à haute pression qui se trouve du côté droit aura dépassé son point mort de 10°, puisque les deux manivelles font un angle de 162°.

Calculons l'effort moteur total.

On a :

Cylindres à basse pression :

Côté droit $f_1 = -13.230 \times \frac{\sin(8° - 55')}{\cos 55'} = -1.631^{kg},26$

Côté gauche $f_2 = 13.230 \times \frac{\sin(82° - 70,5)}{\cos 7°,5} = 12.859\ ,56$

Cylindres à haute pression :

Côté droit $f'_1 = 12.710,6 \times \frac{\sin(10° + 1°)}{\cos 1°} = 2.426^{kg},18$

Côté gauche $f'_2 = 12.710,6 \times \frac{\sin(80° - 5°,5)}{\cos 5°,5} = 12.303\ ,86$

On a donc pour l'effort moteur total . . . . $\Sigma f = 25.957^{kg},34$

Dans le cas où l'angle des deux manivelles motrices est de 135°, on a :

Cylindres à basse pression :

Côté droit $f_1 = -13.230 \times \frac{\sin(8° - 55')}{\cos 55'} = -1,631^{kg},26$

Côté gauche $f_2 = 13.230 \times \frac{\sin(82° - 7°,5)}{\cos 7°,5} = 12,859\ ,56$

Cylidres à haute pression :

Côté droit $f'_1 = 12.710,6 \times \frac{\sin(37° + 4°)}{\cos 4°} = 8.350^{kg},86$

Côté gauche $f'_2 = 12.710,6 \times \frac{\sin(53° - 5°)}{\cos 5°} = 9.482\ ,41$

L'effort moteur total est . . . . . $\Sigma f = 29.061^{kg},27$

Dans le premier cas, l'effort de traction à la jante des roues motrices est :

$$25.957,34 \times \frac{d}{D} = 25.957,34 \times \frac{0,64}{2.114} = 7,864^{kg},97.$$

Dans le second cas, il est :

$$29.061,27 \times \frac{d}{D} = 8.805^{kg},48.$$

La proportion est de 1 à 1,12 et, par conséquent le bénéfice réalisé en diminuant l'angle des manivelles motrices est peu important.

Si nous supposons que le démarrage s'effectue en compound, mais avec admission directe de vapeur (à la pression maxima de 6 kilogrammes) au réservoir intermédiaire, on a, pour l'effort de traction à la jante des roues motrices :

Dans le cas ou $\omega = 18°$ . . . . . $f = 5.924^{kg},56$
— $\omega = 45°$ . . . . . $f = 6.482\ 08.$

La proportion est de 1 à 1,094.

Il est important de remarquer que, pour qu'il y ait admission de vapeur sur le piston du cylindre à haute pression, côté gauche, dans le cas où $\omega = 45°$ et où les manivelles occupent les positions admises jusqu'ici, il faut que le degré d'introduction soit un peu supérieur à 80 p. 100 de la course ; ce qui ne peut avoir lieu, en pratique, le maximum du degré d'introduction étant, à cause des limites de la course du tiroir, inférieur au chiffre ci-dessus. Il n'y aura donc pas, pour $\omega = 45°$, admission de vapeur dans l'un des cylindres à haute pression et on démarrera, en réalité, avec les deux cylindres à basse pression, dont l'un produit un effort négatif, et un seul cylindre à haute pression. On voit ainsi, non seulement qu'il n'y a pas grand avantage à diminuer au delà d'une certaine mesure l'angle des manivelles motrices, mais que cette opération présente des inconvénients dans certains cas, par ce fait qu'elle peut produire des résultats contraires au but proposé.

Mouvement de lacet.

Le mouvement de lacet dépend de la somme des moments des quantités de mouvement par rapport à un axe vertical situé dans le plan médian de la machine. Pour

annuler le mouvement de lacet, il faudrait que la somme de ces moments fût constante.

Les calculs sont les mêmes que pour l'équilibre horizontal ; seulement il faut introduire dans chaque terme un nouveau facteur qui représente la distance du plan médian au centre de gravité de la pièce considérée. Lorsque les manivelles motrices sont à 180° l'une de l'autre, on peut supprimer complètement le mouvement de lacet. Dans le cas contraire on ne pourrait le faire qu'en sacrifiant l'équilibre vertical. De toutes façons, le mouvement de lacet est bien moindre dans les locomotives compound que dans les locomotives ordinaires et les premières, si elles sont rationnellement construites, présentent en marche la stabilité qui est nécessaire pour réaliser de grandes vitesses sur les voies ferrées actuelles.

CONCLUSIONS. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES LOCOMOTIVES COMPOUND.

Les locomotives compound permettent d'utiliser de hautes pressions, lesquelles sont éminemment avantageuses pour produire, avec économie, une grande somme de travail. On ne pourrait le faire, sans le système compound, que si on munissait les cylindres de distributions genre Corliss. Mais on n'obtiendrait quand même pas des degrés de détente aussi élevés qu'avec les machines compound et on ne pourrait augmenter la puissance, autant qu'avec ces dernières, qu'en donnant aux cylindres des dimensions considérables, ce qui est contraire à l'économie, à cause des condensations de vapeur. Or, on cherche dans les machines compound, non seulement l'économie, mais aussi la grande puissance qui est nécessaire pour remorquer des trains rapides à une vitesse

uniforme, même sur les rampes. La solution donnée par les distributions spéciales est donc incomplète, à tous les points de vue. En outre, ces distributions sont très compliquées, plus compliquées que la double distribution par tiroirs des machines compound. Il faut, enfin, régler les phases des distributions genre Corliss avec beaucoup d'attention, sinon on s'expose à des mécomptes.

Les locomotives compound sont seules capables de donner, à la fois, une économie notable et une grande augmentation de puissance.

Leur autre avantage, indispensable pour réaliser de grandes vitesses sans fatiguer les voies, consiste en ce que les mouvements parasites peuvent être considérablement atténués, sinon supprimés. Il est pour cela indispensable que les locomotives soient à quatre cylindres, deux intérieurs et deux extérieurs.

Bien que les machines compound soient plus compliquées que les machines ordinaires, comme les pièces du mécanisme sont plus légères, les dépenses d'entretien et de graissage doivent être finalement peu augmentées. D'autre part, les frais de premier établissement sont plus élevés.

Les machines compound présentent (comme on l'a vu au § 19) ce désavantage que la détente se fait d'une façon défectueuse, puisqu'il y a une chute de pression inévitable entre les deux cylindres, qui entraîne une assez grande perte de travail. La conclusion à tirer de ce fait, c'est que, toutes les fois qu'on peut faire avec un seul cylindre une détente à peu près complète (il faut pour cela que la pression initiale de la vapeur ne soit pas trop élevée et que le cylindre soit assez grand), la machine compound est inférieure à la machine à un seul cylindre.

Les locomotives compound sont plus difficiles à construire que les machines ordinaires et, devant être bien dirigées, nécessitent un personnel de choix. Sinon elles

ne donnent que de médiocres résultats. C'est ainsi que, dans un certain nombre d'essais entrepris jusqu'à ce jour, on a attribué au système compound une défectuosité qui, en réalité, tenait, non au système lui-même, mais aux mauvais moyens employés pour l'appliquer.

D'après les résultats obtenus en service courant avec la locomotive compound du Nord (qui paraît être la plus parfaite qu'on ait construite jusqu'à ce jour), elle présente sur les locomotives ordinaires une économie de 15 à 20 p. 100.

Il y a là un progrès incontestable, mais il pourrait être poussé plus loin.

La théorie indique que, par des modifications, relativement très simples et applicables aux machines non compound existantes, des cylindres et de la distribution, on pourrait, avec le fonctionnement compound, réaliser une économie moyenne un peu supérieure à 30 p. 100.

Telle est la limite du progrès à accomplir avec les locomotives à vapeur. Une économie d'un tiers n'est, d'ailleurs, pas à dédaigner, étant donné que les chemins de fer français dépensent, annuellement, plus de 50 millions de combustible. Un tel progrès ne pourrait, bien entendu, être réalisé du jour au lendemain à cause du matériel qui existe ; mais il serait possible d'en transformer une grande partie.

Bourges, le 2 novembre 1893.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

INTRODUCTION 5

CHAPITRE Ier.

CONSTRUCTION DES DIAGRAMMES DES PRESSIONS DANS LES CYLINDRES D'UNE LOCOMOTIVE COMPOUND.

1. Locomotive compound n° 2.121 de la compagnie du Nord 8
2. Exposé général de la méthode 9
3. Évaluation de la pression sur les tiroirs des cylindres à haute pression 16
4. Admission dans les cylindres à haute pression 19
5. Période d'échappement des cylindres à haute pression. 23
6. Période d'admission dans les cylindres à basse pression 29
7. Période d'échappement des cylindres à basse pression. 30
8. Construction des diagrammes de pression. 34
9. Digression sur les formules d'écoulement de la vapeur. 35

CHAPITRE II.

ÉCHANGE DE CHALEUR ENTRE LA VAPEUR, LES PAROIS MÉTALLIQUES ET L'EXTÉRIEUR.

10. Évaluation du refroidissement extérieur 44
11. Calcul des échanges de chaleur entre la vapeur et les parois métalliques 50

CHAPITRE III.

ÉTUDE DE LA DÉPENSE DE VAPEUR D'UNE MACHINE COMPOUND.

12. Balance des quantités de vapeur dépensées au cylindre à haute pression et au cylindre à basse pression. 56
13. Détermination de la pression moyenne au réservoir intermédiaire . 59
14. Oscillations de la pression dans le réservoir intermédiaire 62
15. Discussion de la méthode employée pour l'étude des périodes d'échappement et des variations de la pression au réservoir intermédiaire. 67
16. Travail effectué dans les cylindres. Dépense de vapeur et rendement. 70
17. Comparaison entre les résultats théoriques et ceux obtenus dans la pratique. Expérience effectuée en service courant 75

CHAPITRE IV.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES LOCOMOTIVES COMPOUND.

Pages.

18. Observations sur les diverses phases par lesquelles passe la vapeur dans les cylindres à haute et à basse pression 78
19. Perte de pression entre les cylindres à haute et à basse pression . . 85
20. Influence du rapport du volume des cylindres sur le rendement . . . 89

CHAPITRE V.

EFFETS DE L'INERTIE DES PIÈCES EN MOUVEMENT RELATIF, DANS LES MACHINES COMPOUND.

21. Équations générales. Équilibre vertical et équilibre horizontal dans le cas où les manivelles motrices sont calées à 180°. Cas où les manivelles motrices font entre elles un angle, $180^\circ - \omega$. Équilibre vertical. Équilibre horizontal. Influence de l'angle ω sur l'équilibre. Influence de l'angle ω sur la puissance de démarrage. Mouvement de lacet 93

CONCLUSIONS. Avantages et inconvénients des locomotives compound . . 110

BULLETIN.

RICHESSES MINÉRALES DU NICARAGUA.

On possède peu de renseignements sur les mines de la République de Nicaragua et sur leur production : elles ne sont pas mentionnées dans le volume de statistique, si complet cependant, *The mineral industry*, publié par l'*Engineering and Mining Journal* (*), et elles figurent confondues avec celles du Honduras et de Costa-Rica dans le récent *Handbook* des Républiques américaines, qui donne, pour ces trois Républiques, une valeur d'extraction globale de 150.000 pesos d'or et de 2.000.000 pesos d'argent (**). Aussi a-t-il paru intéressant de résumer ici les renseignements contenus tant dans les publications du « Bureau des Républiques américaines » que dans divers autres documents, qui seront successivement indiqués.

L'ouvrage de D. José D. Gamez, *Noticias geograficas de la Republica de Nicaragua*, signale le vaste système montagneux qui s'étend jusqu'au littoral de l'Atlantique comme constituant la région minière par excellence; on n'y a fait cependant, jusqu'à présent, que de simples explorations, et l'exploitation est concentrée presque exclusivement dans les départements de Nueva Segovia et de Chontales, connus pour leurs gisements aurifères; le premier est situé sur la frontière du Honduras, sur le cours de la rivière Coco ou Wanles; le second s'étend sur la rive orientale du lac de Nicaragua.

Les mines d'or sont d'ailleurs les seules qui soient exploitées au Nicaragua; les mines d'argent, qui ont donné des rendements

(*) V. *Ann. des mines*, 2e vol. de 1893, p. 362, p. 484-498.

(**) En comptant le *peso* à 5 francs, cela fait un total d'environ 10.750.000 francs.

fabuleux au XVI^e^ et au XVII^e^ siècle, sont aujourd'hui délaissées et ne pourraient être reprises, étant donné surtout la crise qui sévit sur ce métal, qu'à la condition d'appliquer au traitement de leurs produits les procédés les plus perfectionnés. D'après D. Gamez, la production totale de l'or peut être estimée à 22.754 onces par an (*), soit à peu près 708 kilogrammes. Les minerais de Chontales tiennent de 1/4 d'once à 2 onces (7^gr^,78 à 62^gr^,20) d'or par tonne de 2.000 livres anglaises (907 kilogrammes) ; cet or est au titre de 14 à 20 carats (**). Les minerais de Nueva Segovia ont une teneur de 1/2 once à 3 onces (15^gr^,55 à 93^gr^,31) par tonne. Jusqu'à présent, et bien que toutes les mines découvertes jusqu'ici passent pour très riches, l'industrie minière ne se développe pas, faute de capitaux suffisants et surtout de moyens de communication.

D'après un rapport de M. Newell, Consul des États-Unis, ce seraient ces deux départements de Nueva Segovia et de Chontales qui fourniraient tout l'or actuellement livré à l'exportation. Le tableau suivant résume la production mensuelle moyenne de treize mines du département de Chontales :

NOMS des mines	TENEUR des minerais en onces par tonne	PRODUCTION mensuelle en onces	TITRE en carats
San Juan de Canidad	1/2	30 à 40	15
Babilonia	1/4 à 1/2	100 à 200	16 à 17
Los Angeles	1/4	30 à 40	14
La California	1/4 à 1/2	30 à 40	14
El Escandalo	1/4	150 à 200	15
Santa Elena	1/4 à 1/2	140	17
La Esmeralda	3/4	100 à 200	18
El Tope	1/4 à 1/2	100	19 à 20
El Chamovo	1/4 à 1/2	100 à 150	16 à 17
El Javali	3/4	200 à 300	»
San Miguel	1 à 2	30 à 40	»
Santo Domingo	1/2	50 à 100	»
San Gregorio	»	100 à 200	»

Soit, au total, 1.160 à 1.750 onces, c'est-à-dire une production mensuelle moyenne d'environ 45 kilogrammes d'or. Le minerai est broyé, le plus souvent, au moyen de bocards tantôt du système ordinaire, tantôt du système californien, mus par l'eau ou par la vapeur.

(*) Il s'agit de l'once *troy*, qui vaut 31^gr^,1035.
(**) Le titre de l'or fin étant de 24 carats.

Dans le département de Segovia, on ne peut exploiter que des minerais à teneur beaucoup plus forte, l'absence de bonnes routes ne permettant d'amener sur place les machines nécessaires que lorsqu'on est assuré d'un rendement assez élevé. Il y a néanmoins une vingtaine de mines en exploitation dans les districts de Jicarro, Murra, Los Encinos, Las Vueltas; mais, dans le district de Telpaneca, on en compte au moins douze qui restent inactives, faute de capitaux. Le district de Cujé renferme, paraît-il, de très riches gisements; malheureusement le manque d'eau pour la trituration du minerai en rend l'exploitation peu rémunératrice. Sur la plupart de ces mines, et en particulier sur les plus riches, on n'emploie que le vieux procédé du *molinete*. M. Newell estime à 900 onces d'or (28 kilogrammes) environ la production mensuelle des mines du département de Nueva Segovia, non compris toutefois celles de Cujé.

Dans les départements de Segovia, de Chontales et de Matagalpa, on trouve en outre des vestiges d'anciennes exploitations de placers par les conquérants espagnols. D'une étude de M. le docteur Bruno Mierisch, géologue officiel du Nicaragua, il résulterait que les placers les plus riches seraient ceux des rivières Prinzapulca et Wawa, sur le littoral de l'Atlantique; le district de la Wawa est situé sur le cours supérieur de cette rivière, qui forme le lac du même nom avant de se jeter à la mer; celui de la Prinzapulca est plus au sud. Les minerais y renferment de 0,010 à 0,015 p. 100 de métaux précieux, or et argent (95 à 136 grammes par tonne de 907 kilogrammes). M. Newell estime que l'extraction sur ces placers atteint au moins 600 à 800 onces. Il ajoute que, dans le district de Muy Muy Viejo (département de Matagalpa), on vient d'ouvrir deux exploitations sur des gisements tenant jusqu'à 8 onces (249 grammes) à la tonne.

Le traitement des minerais se fait, en général, au Nicaragua, par les procédés les plus primitifs : l'un des plus usités est encore celui du *molinete*, lequel n'est autre chose que l'*arastra* du Mexique. Le *molinete* se compose essentiellement d'une aire pavée circulaire, de 1^m^,80 à 6 mètres de diamètre, limitée par une paroi en bois de 0^m^,60 de hauteur environ. Au centre de cette cuve est placé un arbre vertical en bois d'où partent deux ou plusieurs bras; à chacun de ceux-ci est fixé par des chaînes un rouleau en pierre. L'arbre central est mis en mouvement par des mules ou par un moteur hydraulique et fait de six à dix révolutions par minute. Avant d'être soumis à l'action des rouleaux, le minerai est préalablement réduit en morceaux un peu

moins gros que des œufs de poule; la quantité passée en vingt-quatre heures est de 1',5 à 2 tonnes. On charge d'abord 90 kilogrammes de minerai, avec un peu d'eau; un quart d'heure après, on en rajoute 180 à 230 kilogrammes; quand la masse est réduite en boue assez fine, on y jette une ou deux onces de mercure. On fait de temps en temps une prise d'essai avec une cuiller en corne, on lave, et si l'on aperçoit un peu d'or libre, on rajoute du mercure. Au bout de quatre à cinq heures, on délaye le résidu avec de l'eau et on procède au déchargement de l'appareil. On met généralement 1 once à 1 once 1/2 de mercure pour 1 once d'or. L'amalgame se dépose dans les crevasses du fond de la cuve, mais on perd souvent une grande quantité de mercure mise en excès.

(*Extrait par* M. DANIEL BELLET, rédacteur au Ministère des travaux publics, *des publications du* Bureau des Républiques américaines, des *Noticias geograficas de la Republica de Nicaragua*, par D. GAMEZ, *et d'un rapport de* M. NEWELL, Consul des États-Unis au Nicaragua.)

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

DE LA

VAPORISATION DANS LES CHAUDIÈRES

DE LOCOMOTIVES

FAITE

DANS LES ATELIERS DU CHEMIN DE FER DE PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE

Sous la direction de M. A. HENRY, Ingénieur en chef des Mines, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie P.-L.-M.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES Entrée BIBLIOTHÈQUE 1 bis 1 2

L'étude que publient les *Annales des Mines* a été faite de 1885 à 1890 dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée sur l'initiative et sous la haute direction de M. A. Henry, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction, qui en a tracé tout le programme. Le détail des expériences et le calcul des résultats ont été réglés par M. E. Chabal, alors Ingénieur principal du Matériel. Les expériences ont été organisées et commencées par MM. Foucher, contrôleur, et Trudon, sous-inspecteur, continuées par M. Trudon seul et terminées par M. Mottet, sous-inspecteur; les analyses ont été faites par MM. Mercier et Spiral, chef et sous-chef du laboratoire.

Les expériences et analyses étaient terminées et M. Henry, qui en avait déjà partiellement communiqué les résultats au Congrès des chemins de fer de 1889, se

préparait à en rédiger le compte rendu complet, quand la mort est venue l'enlever prématurément à ses travaux, au mois de janvier 1892. M. Georges Marié, Ingénieur, Chef de division dans son service, a bien voulu accepter la tâche délicate et un peu ingrate de revoir les documents préparés, d'en contrôler l'exactitude et de les présenter aux lecteurs des *Annales des Mines* sous leur forme définitive.

BUT DE L'ÉTUDE.

En rendant compte au Congrès des chemins de fer de 1889 des premiers résultats de son étude, M. Henry en définissait le but primitif de la manière suivante :

« Tout d'abord, nous avons voulu nous rendre compte de l'influence exacte de la longueur des tubes à fumée, tant sur la puissance de production que sur le rendement économique de la chaudière. Nous savions bien, d'une façon générale, que, pour un même foyer et un faisceau tubulaire d'un même nombre de tubes de même diamètre, les longs tubes donnaient un rendement économique meilleur, mais paraissaient limiter davantage la puissance de production. L'économie était-elle suffisante pour motiver l'augmentation de poids de la machine et la diminution de la puissance maxima? Ne valait-il pas mieux la sacrifier dans beaucoup de cas, celui des machines à grande vitesse par exemple, pour alléger le moteur et augmenter l'élasticité de sa puissance? Telles sont les questions que nous nous sommes posées tout d'abord et auxquelles nous voulions répondre d'une façon certaine en ne basant notre appréciation que sur des faits d'expérience. »

Mais M. Henry ne s'est pas contenté d'étudier la longueur des tubes conformément à ce programme. Il a

répété toutes ses expériences avec différents tirages et avec diverses formes de foyers (foyers ordinaires, foyers avec voûtes en briques ou avec bouilleur Tenbrink). Il a étudié également l'influence de la surface de grille, du nombre et du diamètre des tubes. En un mot, il a cherché à déterminer, autant que possible, les meilleures conditions d'établissement à adopter pour les différentes parties des chaudières de locomotives et des chaudières analogues, suivant les différents cas qui peuvent se présenter.

Après ses premières expériences sur des chaudières à tubes lisses, il en a entrepris de nouvelles, en 1889, sur des chaudières munies de tubes à ailettes, système Serve, en faisant varier, comme dans le premier cas, la longueur, le nombre et le diamètre des tubes, le type de foyer (voûte en briques ou bouilleur Tenbrink) et le tirage.

La première partie du présent travail donne la description et discute les résultats des premières expériences faites avec des tubes lisses et sur une chaudière spéciale d'essai.

Une seconde partie, également relative aux tubes lisses, rapporte quelques expériences faites sur les chaudières de six locomotives construites à la suite des premiers essais et en tenant compte de leurs enseignements.

Enfin, la troisième partie est consacrée aux expériences sur les tubes à ailettes.

Le travail se termine par l'indication sommaire des applications auxquelles l'étude expérimentale de M. Henry a conduit la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

1re PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR UNE CHAUDIÈRE D'ESSAI A TUBES LISSES.

I. Appareils d'expériences.

Chaudière.

La chaudière qui a été choisie pour les expériences (Pl. III, *fig.* 1), était du type de celles des machines express 111-400 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée ; cette chaudière était fixe et placée dans un bâtiment spécial couvert et fermé pour éviter les courants d'air. La vapeur sortait de la chaudière par un dôme avec sécheur et prise de vapeur A identique à celui des machines 111-400 ; elle était évacuée dans l'atmosphère en passant par un étranglement réglé de façon à maintenir la pression dans la chaudière à 10 kilogrammes environ, pression du timbre, comme dans les machines en service. Cet étranglement était produit au moyen d'une valve que le mécanicien pouvait régler de sa plate-forme de chauffe, de manière à maintenir constante la pression de la chaudière. Cependant on prélevait sur cette vapeur une faible portion pour alimenter le souffleur, l'injecteur Giffard et l'appareil de mesure de l'eau entraînée par la vapeur comme on le verra plus loin.

Ce qui caractérisait spécialement la construction du corps cylindrique de cette chaudière, c'est qu'il se composait de viroles à collerettes boulonnées entre elles au lieu des viroles rivées habituellement employées ; elles étaient disposées de telle façon qu'on pouvait donner aux

tubes les longueurs suivantes, en diminuant progressivement le nombre des viroles et en coupant les tubes :

$7^m,00$ $6^m,00$ $5^m,00$ $4^m,50$ $4^m,00$ $3^m,50$ $3^m,00$ $2^m,50$ $2^m,00$.

La *fig.* 1, Pl. III, représente la chaudière disposée avec tubes de 7 mètres de longueur.

On a fait des expériences pour chacune des longueurs indiquées ci-dessus jusqu'à la longueur de 3 mètres inclusivement. On a fait aussi quelques expériences avec des tubes de $2^m,50$ et 2 mètres, mais on y a bientôt renoncé, ces expériences ne présentant aucun intérêt pratique (on verra plus loin, au contraire, qu'avec des tubes à ailettes, ces longueurs de tubes sont très intéressantes à étudier).

La boîte à fumée avait la forme de celle des machines 111-400. Le souffleur B destiné à donner le tirage était à couronne et permettait de faire varier ce tirage dans des limites très étendues.

La grille et le foyer étaient conformes à ceux des chaudières 111-400. Mais on a profité de ces expériences pour étudier comparativement :

Le foyer seul, — le foyer avec voûte en briques, — le foyer avec appareil Tenbrink (voir Pl. III, *fig.* 2, 3 et 4).

Le foyer de la chaudière d'essai était disposé de manière à pouvoir être muni ou démuni de ces appareils à volonté.

Pour la voûte en briques, on a employé successivement une voûte longue de $1^m,650$ (Pl. III, *fig.* 2) et une voûte courte de $1^m,212$ (Pl. III, *fig.* 3). Pour le Tenbrink, on a adopté, par rapport à la surface de grille, les proportions suivies par la Compagnie d'Orléans, qui fait usage de cet appareil sur une grande échelle (Pl. III, *fig.* 4).

Le tableau suivant résume les dimensions qui ont été adoptées pour toutes les parties de la chaudière :

Nombre de tubes (en laiton)			185
Diamètre des tubes (lisses, ordinaires)	extérieur		0m,050
	intérieur		0m,046
Section totale intérieure des tubes	courante	T	0m2,30.747
	à l'intérieur des viroles	t	0m2,18.833
Surface de grille en contact avec le combustible			2m2,34
Surface de grille (projection sur un plan horizontal)		G	2m2,21
Rapport $\frac{T}{G}$			0,137
Rapport $\frac{t}{G}$			0,084
Surface de chauffe du foyer	Voûte longue		10m2,02
	Voûte courte		10m2,12
	Tenbrink		14m2,19

Surface intérieure des tubes	7m,00	6m,00	5m,00	4m,50	4m,00	3m,50	3m,00
	187m2,15	160m2,41	133m2,68	120m2,31	106m2,94	93m2,58	80m2,21

Nota. — La surface de chauffe du foyer est comptée en déduisant les trous des tubes; celle du Tenbrink est mesurée en comptant sa surface totale, dessus, dessous et sur les côtés.

Le tableau suivant résume les dispositions prises pour la voûte en briques et le Tenbrink (voir Pl. III, *fig.* 2, 3 et 4) :

	Surface de grille en projection G	SECTIONS		RAPPORTS	
		a	b	$\frac{a}{G}$	$\frac{b}{G}$
	m2	m2	m2	m2	m2
Voûte en briques (longue)	2,24	0,350	0,470	0,15	0,20
Id. (courte)	2,24	0,350	0,570	0,15	0,25
Bouilleur Tenbrink	2,24	0,313	0,420	0,14	0,18

On sait que lorsque l'on fait usage de la voûte en briques ou du Tenbrink, il faut faire entrer de l'air au-dessus du combustible, pendant quelque temps, après le chargement. Cette précaution est nécessaire pour achever de brûler l'oxyde de carbone qui se forme aussitôt après le chargement. Pour opérer cette rentrée d'air, on a adopté le clapet employé à cet effet par la Compagnie

d'Orléans (Pl. III, *fig.* 2, 3 et 4); avec cette disposition A, l'air entre par l'arrière sur toute la largeur du foyer sous forme d'une lame horizontale dont on peut régler exactement la section; un déflecteur règne sur toute la largeur du foyer de manière à rabattre l'air sur le combustible et à produire concurremment avec la voûte et le Tenbrink le brassage des gaz avant leur passage dans les tubes.

Appareils de mesure de l'eau d'alimentation.

L'alimentation était faite au moyen d'un injecteur du modèle habituel de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Comme, dans tous les essais de cette nature, il était indispensable de ramener l'eau rigoureusement à la même hauteur au commencement et à la fin de chaque essai. Voici comment on y arrivait : le *niveau réglementaire* était à 100 millimètres au-dessus du ciel du foyer comme habituellement; dans toutes les expériences, on a toujours maintenu l'eau naturellement à un niveau supérieur au niveau réglementaire. Le tube de niveau d'eau était muni d'une bague mobile permettant de marquer un point de repère; voici à quoi servait cette disposition.

Le commencement de chaque expérience étant déterminé ainsi qu'il sera dit plus loin d'après l'état du feu, on adoptait, comme *niveau normal* de l'expérience, le niveau de l'eau au moment précis où on la commençait; on plaçait la bague mobile à cet endroit et l'on conservait pendant toute l'expérience un niveau aussi voisin que possible de ce niveau normal. A la fin de l'expérience, on faisait en sorte de ramener le niveau exactement à ce niveau normal.

L'eau prise par l'injecteur provenait de deux caisses de 1.000 litres chacune, munies de tubes de niveau

d'eau permettant de jauger à chaque instant la consommation; on se servait de ces caisses alternativement, ce qui permettait de remplir l'une pendant que l'on se servait de l'autre.

On recueillait dans une caisse spéciale jaugée l'eau perdue par l'injecteur et l'on déduisait cette quantité du cubage de l'eau d'alimentation.

Pesage du combustible.

On pesait avec le plus grand soin le combustible consommé pendant chaque essai. Le poids noté était le poids du combustible brut tel qu'il était, et l'on tenait compte ensuite de l'eau et des cendres contenues dans le combustible, comme on le verra plus loin.

Appareils de mesure du tirage.

La puissance du tirage était mesurée au moyen d'un manomètre à air libre à eau, communiquant, d'une part, dans le cendrier avec l'air avant son entrée dans le combustible, et, d'autre part, dans la boîte à fumée avec les gaz de la combustion. La communication entre le cendrier et le manomètre était établie au moyen d'une tubulure E (Pl. III, *fig.* 1) représentée en détail par la *fig.* 5, et la communication entre la boîte à fumée et le manomètre au moyen d'une tubulure F représentée en détail par la *fig.* 6.

Appareils de mesure de la température des gaz dans la boîte à fumée.

Avec les longs tubes, la température des gaz dans la boîte à fumée étant inférieure au point d'ébullition du mercure, a pu être relevée à l'aide d'un thermomètre

ordinaire T (Pl. IV, *fig.* 2); mais, avec des tubes de moins de 4 mètres, le thermomètre ordinaire a dû être remplacé par un autre appareil. Après divers essais, on a fait choix du pyromètre Salleron qui a donné de bons résultats. Le principe de cet appareil est le suivant : on place une petite masse de métal A, pendant un temps assez long, dans le courant gazeux dont on veut mesurer la température; la masse de métal s'échauffe, puis on la fait tomber dans un calorimètre B dans lequel on la laisse jusqu'à ce qu'elle ait communiqué toute sa chaleur à l'eau du calorimètre. La température cherchée se calcule aisément quand on connaît la quantité de chaleur acquise par le calorimètre et la capacité calorifique du métal de la masse soumise à l'expérience. En réalité, la capacité calorifique du métal augmente très sensiblement à mesure que la température s'élève. Les valeurs de cette capacité calorifique, à mesure que la température s'élève, ont été déterminées avec soin par le professeur Post, de l'Université de Gœttingue; elles ont servi à calculer une table donnant la température cherchée en fonction des indications du calorimètre.

La *fig.* 2 montre l'installation du pyromètre Salleron dans la boîte à fumée; elle montre la disposition qui était employée pour qu'on pût faire tomber la masse de métal depuis sa position normale jusque dans le calorimètre, sans qu'elle perdît de chaleur dans son trajet.

Le thermomètre à mercure et le pyromètre Salleron étaient les seuls appareils employés pour *mesurer la valeur absolue* de la température dans la boîte à fumée.

On avait d'ailleurs en plus un thermomètre à air qui avait été installé tout d'abord pour donner aussi les valeurs *absolues* de la température dans la boîte à fumée; il ne put jamais donner, faute d'étanchéité, des indications exactes à ce point de vue, mais il rendit les plus grands services en donnant et enregistrant les *variations*

de la température. Cet appareil, complété de façon à donner au chauffeur des indications lui permettant de faire toujours ses charges dans les mêmes conditions, devint le véritable régulateur de la chauffe. Il se composait d'un serpentin C placé dans la boîte à fumée; ce serpentin contenait un *gaz emprisonné* et communiquant au moyen d'un tube capillaire D avec un manomètre à air libre à mercure E. D'après les indications du manomètre, il était facile de se rendre compte des variations de la température dans la boîte à fumée. En outre, sur la branche libre du manomètre, on avait disposé un flotteur F, sur le mercure, et les mouvements de ce flotteur étaient communiqués à un enregistreur automatique de la température (non représenté sur la *fig.* 2).

Enfin, une disposition spéciale représentée au-dessus du manomètre à mercure faisait tinter une sonnerie électrique pendant que la température s'abaissait, sans la faire fonctionner quand la température s'élevait. A cet effet, un fil relié au flotteur s'enroulait sur une poulie G montée sur un arbre très mobile; ce fil était tendu par un petit contre-poids H. L'extrémité de cet arbre portait une manivelle K fendue à son extrémité. Dans cette fente venait s'engager, avec un faible jeu, le bout d'une autre manivelle fixée sur un petit arbre J, monté à frottement doux dans le prolongement du premier. On conçoit que tant que le mouvement du mercure dans le manomètre s'effectuait dans un même sens, la manivelle du second arbre restait en contact avec le même côté de la fente de la manivelle commandée par le flotteur; une des branches de cette fente était garnie d'une matière isolante, de telle sorte que le courant électrique faisant tinter une sonnerie ne passait pas tant que le mercure montait dans le tube; mais dès qu'un très faible abaissement de température dans la boîte à fumée faisait baisser le mercure du manomètre, le sens de la rotation de l'arbre

changeait ainsi que le contact des deux manivelles. Le courant passait alors d'un arbre à l'autre et faisait tinter la sonnerie, qui annonçait au chauffeur l'abaissement de température de la boîte à fumée.

On verra plus loin quelle était l'utilité de cette disposition.

Comme serpentin, on a employé un tube de cuivre rouge de 23 millimètres de diamètre extérieur et de 2 millimètres d'épaisseur.

Lorsqu'on espérait obtenir de cet appareil des indications exactes sur les valeurs *absolues* de la température, on remplissait le serpentin avec de l'azote, mais lorsqu'on dut renoncer à en obtenir autre chose que l'indication des *variations* de température, on se contenta d'y mettre de l'air atmosphérique.

Appareils pour la détermination de la composition des gaz dans la boîte à fumée.

Pour déterminer la composition des gaz dans la boîte à fumée, on s'est préoccupé tout d'abord de bien opérer les prises d'essai. On avait d'abord fait ces prises dans la boîte à fumée, mais les résultats variaient sans motif d'un essai à l'autre; cela tenait à ce que les gaz chauds provenant des divers tubes à fumée de la chaudière n'avaient pas rigoureusement la même composition; de plus, il rentrait un peu d'air par la porte de la boîte à fumée, toutes circonstances qui faussaient les prises d'essai. On a alors adopté une disposition consistant à établir dans la cheminée un renflement CD (voir Pl. III, *fig.* 1) rempli de chicanes pour mélanger les gaz. Au-dessus de ce renflement de la cheminée, il y avait deux tubes de prises d'essai, l'un A (Pl. IV, *fig.* 1) destiné à l'analyse exacte du gaz par l'eudiomètre de Regnault, et l'autre B destiné à l'analyse rapide par l'appareil Orsat.

En outre, la porte de la boîte à fumée a été établie de manière à éviter les rentrées d'air qui pouvaient enflammer les escarbilles ou fausser les prises d'essai; pour obtenir l'étanchéité complète, on bouchait tous les joints avec de la terre réfractaire à chaque expérience.

Pour faire la prise d'essai relative à l'eudiomètre de Regnault, on opérait de la manière suivante. Le but à atteindre était de faire une prise d'essai représentant la composition *moyenne* des gaz pendant toute la durée de l'expérience. Pour y arriver, on se servait d'un appareil se composant essentiellement (Pl. V, *fig.* 2) : 1° d'une bonbonne de verre C placée horizontalement; 2° d'une grande poche à gaz en caoutchouc D placée dans la bonbonne de verre et pouvant, une fois gonflée, la remplir complètement; 3° d'un réservoir en zinc E situé au-dessus et plein d'eau; 4° de deux ampoules de verre F, G destinées à la prise d'essai et communiquant avec la capacité intérieure du caoutchouc au moyen d'un tube et d'un robinet; ces ampoules avaient environ 50 centimètres cubes de capacité chacune. Cela posé, voici comment on effectuait la prise d'essai : le réservoir en zinc communiquait au moyen d'un tube et d'un robinet avec la capacité comprise entre le caoutchouc et le verre. On ouvrait ce robinet; l'eau entrait alors dans la bonbonne de verre, en aplatissant le caoutchouc; on avait soin naturellement de laisser l'air s'échapper de la poche en caoutchouc. Puis on fermait la communication entre la bonbonne et le réservoir et l'on mettait l'intérieur de la poche en caoutchouc en communication avec le tuyau de prise d'essai de la cheminée. Ensuite on mettait l'eau de la bonbonne en communication avec un tuyau de vidange H commandé par un robinet; on comprend de suite que le vide se faisait dans la bonbonne et que la poche de caoutchouc se dilatait de manière à aspirer les gaz de la combustion. Ce robinet de vidange était à peine

ouvert, et réglé de telle façon que la poche se remplissait complètement pendant toute la durée de l'expérience, c'est-à-dire pendant trois heures; cette poche contenait donc, après l'essai, des gaz représentant bien la qualité moyenne des gaz de la combustion. Cela fait, on remettait la bonbonne en communication avec l'eau du réservoir supérieur et les gaz étaient refoulés à travers les deux ampoules; on laissait couler quelque temps pour bien chasser l'air; puis on arrêtait le passage des gaz et l'on soudait au chalumeau les deux extrémités effilées de chaque ampoule. Ces ampoules étaient envoyées au laboratoire et servaient à faire l'analyse exacte des gaz au moyen de l'appareil de Regnault. C'est d'après ces analyses qu'ont été établis les chiffres donnant la composition des gaz et qui ont servi à calculer certains tableaux, comme on le verra plus loin.

Les prises d'essai relatives à l'appareil Orsat n'étaient pas destinées à donner la composition moyenne des gaz pendant l'expérience, mais bien leur composition à un moment déterminé; elles étaient destinées à voir en peu d'instants si une marche déterminée de la chaudière donnait une combustion suffisamment parfaite; elles ont servi à fixer la meilleure hauteur du combustible à adopter au moment du chargement, la quantité d'air à faire arriver par-dessus le combustible, etc. L'appareil Orsat (Pl. V, *fig.* 1) se compose d'une capacité Q jaugée de 100 centimètres cubes servant à mesurer la prise d'essai, et de trois chambres d'absorption :

1° L'une I contenant une dissolution de potasse caustique destinée à absorber l'acide carbonique;

2° Une autre J contenant du pyrogallate de potasse destinée à retenir l'oxygène;

3° Enfin, une troisième K renfermant une dissolution de protochlorure de cuivre ammoniacal destinée à retenir l'oxyde de carbone.

Le flacon O renferme de l'eau additionnée d'un peu d'acide chlorhydrique pour éviter toute absorption de l'acide carbonique des gaz à analyser.

Pour faire une analyse, on fait circuler les gaz de la boîte à fumée dans les tuyaux, au moyen de l'éjecteur M; de cette façon, les tuyaux sont purgés d'air et contiennent les gaz à analyser. On ferme le robinet N pour isoler l'appareil de l'atmosphère. On abaisse le flacon O et on ouvre le robinet P; les gaz affluent dans le mesureur Q, les robinets R, S, T restant fermés; on ferme ensuite le robinet P après avoir pris 100 centimètres cubes de gaz mesurés à la pression atmosphérique; on ouvre le robinet R et on soulève le flacon O, ce qui fait passer les gaz dans la chambre d'absorption I qui retient l'acide carbonique; on mesure la quantité restant en Q après cette opération; on opère de même pour l'oxygène en J et pour l'oxyde de carbone en K.

Le résidu représente l'azote et les hydrocarbures, ou plus exactement, l'azote seul, car on verra plus loin que les analyses à l'appareil de Regnault ont montré qu'il n'y avait pas d'hydrocarbures en quantité appréciable.

Le flacon de la chambre d'absorption I communique avec l'atmosphère par toute la surface du liquide absorbant qui n'est pas en contact avec le gaz à analyser; au contraire, les flacons des chambres d'absorption J et K communiquent avec l'intérieur de deux vessies en caoutchouc fermées; sans cette précaution, les liquides que contiennent ces flacons absorberaient l'oxygène de l'atmosphère.

La disposition des robinets permettait de faire, à l'appareil Orsat, l'analyse des gaz contenus dans la poche en caoutchouc destinée à l'analyse par l'appareil de Regnault; on a profité de cette disposition pour faire la comparaison des analyses de gaz obtenues par les deux procédés comme contrôle de leurs indications.

Appareil pour la détermination de l'eau entraînée par la vapeur.

Pour mesurer la proportion de l'eau entraînée par la vapeur, on s'est arrêté à l'emploi de la méthode calorimétrique. C'est la seule, en effet, qui soit rigoureuse, les divers appareils basés sur le principe de la séparation mécanique de l'eau et de la vapeur ne permettant pas de s'assurer que la vapeur a bien été débarrassée de l'eau dans l'appareil. Cette mesure avait une importance capitale.

La méthode est basée sur le principe suivant : on fait passer dans un condenseur, disposé comme un calorimètre, une certaine quantité de vapeur à essayer, de manière à la condenser tout à fait; pour un poids déterminé de vapeur à essayer (vapeur et eau entraînée), on mesure l'augmentation de chaleur du condenseur; plus la vapeur à essayer contient d'eau par kilogramme de mélange, plus la chaleur cédée est faible; on va voir qu'on peut facilement calculer la proportion d'eau entraînée d'après la chaleur cédée au condenseur-calorimètre.

Un semblable appareil peut être disposé de façon à fonctionner d'une manière intermittente ou continue; c'est cette dernière disposition qui a été adoptée; voici en quoi elle consiste :

Sur la conduite A évacuant à l'atmosphère (Pl. IV, *fig.* 1) était placée une prise de vapeur B de 12 millimètres de diamètre intérieur aboutissant à un petit condenseur par surface C par l'intermédiaire d'une petite vanne D, servant à régler l'écoulement de la vapeur tout en produisant un étranglement. En amont de cette petite vanne, la vapeur avait la même pression que dans la chaudière, car la prise de vapeur était faite avant la vanne de la conduite d'échappement, et la section de

cette conduite était assez grande pour que la vitesse de la vapeur n'y fût pas trop forte; en aval de cette petite yanne D et dans le condenseur, la vapeur était à la pression atmosphérique. Dans les tubes de ce condenseur passait la vapeur à essayer, tandis que l'eau réfrigérante circulait autour des tubes. Cette eau provenait d'un petit réservoir de 150 litres E placé à 6 mètres au-dessus du condenseur, et dans lequel le niveau se maintenait automatiquement constant au moyen d'un robinet à flotteur et d'un déversoir; la quantité d'eau circulant par seconde était donc constante; il en était de même de la quantité de vapeur circulant dans l'appareil, puisque nous avons vu que la pression de la chaudière était maintenue constante. Le calorimètre était assez grand pour que la vapeur qui y entrait s'y condensât complètement. On notait tous les quarts d'heure :

La température de la vapeur sous pression avant son entrée dans le condenseur . . . . . Θ
La température de l'eau de circulation à l'entrée du condenseur . . . . . t
La température de l'eau de circulation à la sortie du condenseur . . . . . T
La température de l'eau de condensation de la vapeur essayée. . . . . θ

Pour jauger l'eau de circulation, on la recueillait alternativement dans deux caisses à eau F et G de 2.000 litres chacune, munies de tubes de niveau et dont l'usage était analogue aux caisses d'alimentation; quant à l'eau de condensation, elle était recueillie alternativement dans deux caisses, l'une de 500 litres, l'autre de 60 litres où on la mesurait par une pesée.

Voici maintenant comment on calculait la proportion d'eau entraînée au moyen des données ci-dessus.

Appelons :

Q le volume, en litres, de l'eau de circulation pendant la durée d'une opération;

q le volume, en litres, de l'eau de condensation pendant la même durée, ou poids de vapeur soumise à l'essai, y compris l'eau entraînée;

x p. 100 la proportion d'eau entraînée cherchée;

λ la chaleur totale de vaporisation depuis la température zéro jusqu'à la température Θ (d'après Regnault).

Il est évident que la quantité de chaleur qui entre dans le calorimètre est égale à la quantité de chaleur qui en sort, puisqu'il s'agit d'un régime permanent avec températures constantes. En écrivant dans une équation que la quantité de chaleur qui entre est égale à la quantité de chaleur qui sort, nous aurons le moyen de déterminer l'inconnue x.

Évaluons maintenant les entrées et les sorties de chaleur d'après les données ci-dessus (les quantités de chaleur sont toutes évaluées au-dessus de zéro).

Entrées. — La chaleur apportée par la vapeur avant son entrée dans le calorimètre est égale à :

Chaleur totale de la vapeur sèche $\lambda\left(q - x\frac{q}{100}\right)$.

Chaleur de l'eau entraînée . . . . $\Theta x \frac{q}{100}$.

(On suppose ici implicitement que la capacité calorifique de l'eau est constante et égale à 1; la légère erreur commise en opérant ainsi est absolument négligeable.)

La quantité de chaleur apportée par l'eau de circulation est égale à Qt.

Sorties. — La chaleur emportée par l'eau de condensation est égale à $q\theta$; la chaleur emportée par l'eau de circulation est égale à QT; cela posé, l'équation est la suivante :

$$\lambda\left(q - \frac{xq}{100}\right) + \Theta\frac{xq}{100} + Qt = q\theta + QT,$$

d'où l'on tire :

$$x = 100\,\frac{\lambda - \left[\theta + \frac{Q}{q}(T - t)\right]}{\lambda - \Theta}.$$

Telle est l'équation qui donne la proportion p. 100 d'eau entraînée par la vapeur.

En faisant usage de ce procédé l'on a reconnu que la proportion d'eau entraînée par la vapeur était toujours très voisine de zéro; les chiffres ont varié entre + 3,3 p. 100 et — 4,11 p. 100; ces variations ont paru être de l'ordre de celles que peuvent entraîner les erreurs d'expériences et l'on a dès lors admis que la vapeur était sèche dans tous les essais, contrairement à ce qu'on supposait. On a attribué ce résultat à ce que la prise de vapeur de la chaudière, dans le dôme, séchait la vapeur d'une façon parfaite; à titre de vérification, l'on a fait des expériences en prenant de la vapeur dans une partie de la chaudière où l'on était certain de trouver de l'eau entraînée; dans ce cas, la méthode a accusé une proportion d'eau variable, et souvent considérable, comme l'on s'y attendait.

Comme on vient de le voir, les chiffres relatifs à l'eau entraînée ont été trouvés, dans les expériences, assez voisins de zéro pour qu'on pût admettre que la vapeur y était pratiquement sèche; cela ne veut pas dire cependant qu'elle est sèche dans les locomotives en marche, car les mouvements de lacet et de galop de la machine et les trépidations remuent constamment l'eau de la chaudière, ce qui doit donner lieu à un entraînement d'eau variable suivant les circonstances; d'autre part, les irrégularités dans le régime qui se produisent en marche et qui étaient soigneusement évitées dans les expériences, doivent aussi donner lieu à des entraînements d'eau momentanés plus ou moins importants; cette quantité d'eau entraînée a pour effet d'augmenter un peu le

chiffre de vaporisation d'eau et de faire croire à une utilisation un peu meilleure qu'elle ne l'est en réalité dans les machines en service.

Appareils pour mesurer la quantité d'escarbilles produites.

Les escarbilles déposées dans les tubes et la boîte à fumée ont été pesées à la fin de chaque essai. Quant aux escarbilles sortant dans la cheminée, et qui auraient pu être entraînées dans l'atmosphère, elles ont été recueillies au moyen d'un appareil spécial et pesées à la fin de chaque essai. Mais cette dernière quantité ayant toujours été extrêmement faible, on n'en a pas tenu compte du tout.

Appareils pour l'analyse et la détermination du pouvoir calorifique du combustible.

On verra plus loin qu'on prélevait, pour chaque expérience, un échantillon moyen de combustible; une partie de cet échantillon était envoyée au laboratoire, qui déterminait *sa teneur en eau par rapport au combustible brut* et *sa teneur en cendres par rapport au combustible sec*, par les méthodes usuelles.

Puis on composait un échantillon moyen correspondant au combustible d'un certain nombre d'expériences, et cet échantillon était envoyé au laboratoire qui en faisait l'*analyse élémentaire* et en déterminait le *pouvoir calorifique*. Nous ne parlerons pas de l'analyse élémentaire qui a été faite par la méthode usuelle, mais il est nécessaire de dire quelques mots sur la détermination du pouvoir calorifique.

On a rejeté la méthode de Berthier et la méthode de Dulong qui sont empiriques et ne donnent que des résultats très éloignés de la réalité. On a adopté la méthode de la combustion de l'échantillon dans l'oxygène et du

calorimètre; c'est la méthode classique décrite dans tous les traités de physique en profitant des perfectionnements indiqués par M. Berthelot. Nous ne donnerons pas la description de cette méthode qui est connue. Nous rappellerons seulement que l'échantillon de charbon est brûlé dans un courant d'oxygène pur et que les gaz de la combustion ainsi que tout l'appareil sont placés au milieu d'un calorimètre rempli d'eau dont on observe l'élévation de température. Les gaz de la combustion traversent le calorimètre dans un serpentin assez long pour être refroidis complètement; on fait l'analyse de ces gaz à la sortie de ce serpentin. La combustion dans ces conditions est presque parfaite en ayant soin d'opérer avec un excès d'oxygène; il y a cependant des traces d'oxyde de carbone dont on tient compte par une correction.

Comme on le verra plus loin, on a choisi comme combustible une briquette ayant une composition et un pouvoir calorifique très constants. Les résultats moyens de l'analyse élémentaire et de la détermination du pouvoir calorifique ont été les suivants, avec des variations insignifiantes :

Analyse élémentaire (chiffres relatifs au combustible sec et privé de cendres).	Carbone	88,51
	Hydrogène.	4,50
	Oxygène et azote. .	6,99
	Totaux.	100,00
Pouvoir calorifique		8.420^{cal}

En ce qui concerne la teneur en eau par rapport au combustible brut et la teneur en cendres par rapport au combustible sec, on a trouvé des résultats variant légèrement d'une expérience à l'autre; en moyenne, on peut dire qu'on a trouvé 2,25 p. 100 pour le premier de ces chiffres et 4,16 p. 100 pour le deuxième, ce qui donne un pouvoir calorifique moyen de 7.890 calories pour le

combustible brut. Ces deux chiffres, variant un peu d'une expérience à l'autre, permettaient de déterminer chaque fois le pouvoir calorifique du combustible brut d'après celui du combustible sec et privé de cendres.

II. Programme et marche des expériences.

Programme des expériences.

Pour chacune des longueurs de tubes expérimentées : 7^m, 6^m, 5^m, $4^m,50$, 4^m, $3^m,50$ et 3^m, on a fait quatre séries d'essais, savoir :

Avec foyer ordinaire, — avec voûte longue, — avec voûte courte, — avec bouilleur Tenbrink.

Les résultats obtenus ont montré, comme nous l'avons dit, qu'il n'y avait pas d'intérêt à descendre au-dessous de 3 mètres de longueur de tubes; d'autre part, la voûte courte n'a été expérimentée que pour la longueur de 6 mètres et les longueurs au-dessous.

Cela posé, chaque série comprenait trois essais aux tirages successifs de 25, 45 et 75 millimètres; ce tirage était constaté au moyen d'un manomètre à eau communiquant d'une part avec le cendrier, et, d'autre part, avec la boîte à fumée, comme on l'a vu ci-dessus.

Ces tirages avaient été choisis d'après les observations faites sur une machine 111-400, en service, et montrant :

1° Que le tirage de 45 millimètres correspondait à la plus grande puissance de ces machines pour un travail continu;

2° Que le tirage de 75 millimètres n'était atteint que très rarement, quand on voulait donner à la machine le maximum de sa puissance, dans un coup de collier momentané.

Depuis l'époque de ces expériences, on a introduit dans la construction des cheminées une modification qui permet

d'obtenir des tirages sensiblement plus élevés dans la pratique.

Cela posé, voici le tableau qui résume le programme des expériences qui ont été faites, chacune aux tirages de 25, 45 et 75 millimètres :

Tubes de 7m,00.	Foyer ordinaire. . . .	Tirages de 25,45 et 75 millim. d'eau.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte.	Ces expériences n'ont pas été faites.
	Tenbrink.	Tirages de 25,45 et 75 millim. d'eau.
Tubes de 6m,00.	Foyer ordinaire. . . .	Id.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte.	Id.
	Tenbrink.	Id.
Tubes de 5m,00.	Foyer ordinaire. . . .	Id.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte	Id.
	Tenbrink.	Id.
Tubes de 4m,50.	Foyer ordinaire. . . .	Id.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte.	Id.
	Tenbrink.	Id.
Tubes de 4m,00.	Foyer ordinaire. . . .	Id.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte.	Id.
	Tenbrink.	Id.
Tubes de 3m,50.	Foyer ordinaire. . . .	Id.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte.	Id.
	Tenbrink.	Id.
Tubes de 3m,00.	Foyer ordinaire. . . .	Id.
	Voûte longue	Id.
	Voûte courte.	Id.
	Tenbrink.	Id.

Il résulte de ce tableau qu'il a été fait $7 \times 4 \times 3 = 84$ expériences, moins les 3 expériences avec tubes de 7 mètres et voûte courte, soit donc 81 expériences en tout.

En plus de ces expériences principales, on en a fait beaucoup d'autres pour déterminer l'influence de la réduction de la surface de grille et celle de la réduction du nombre de tubes ; nous en reparlerons plus loin sous le titre : *Expériences complémentaires.*

Conditions de chargement du combustible.

On comprend de suite qu'il est d'une importance capitale de faire toutes les expériences dans les mêmes conditions de combustion pour qu'elles soient comparables. Nous avons déjà dit qu'on a choisi comme combustible une briquette de bonne qualité, celle de Mariemont (Belgique), ayant une composition et un pouvoir calorifique parfaitement constants et donnant des cendres infusibles ; cette dernière condition était indispensable, car un combustible qui ne l'aurait pas remplie n'aurait pas permis de faire des expériences de quatre heures sans décrassage des grilles. En outre, il était nécessaire de brûler ce combustible toujours dans les mêmes conditions pour que les chiffres obtenus fussent comparables.

Le ramonage des tubes, à l'intérieur, était fait avec soin après chaque expérience ; le lavage de la chaudière était opéré à peu près tous les huit jours ; ces précautions étaient nécessaires pour que la chaudière fût toujours sensiblement dans le même état, au point de vue de la transmission de la chaleur.

Pour brûler le combustible dans des conditions toujours comparables, on a d'abord essayé de charger le feu comme le font les mécaniciens dans la pratique, en se basant sur l'aspect du feu. On a fait un certain nombre d'essais semblables dans ces conditions et l'on a obtenu des chiffres de vaporisation assez différents entre eux, tandis qu'ils auraient dû être constants. Après divers essais, on s'est arrêté à la marche suivante et l'on a obtenu alors des vaporisations bien constantes, en opérant plusieurs fois dans les mêmes conditions.

On a eu soin, dans toutes les expériences, de casser la briquette après l'avoir pesée, et de l'employer en morceaux de grosseur constante de 500 à 700 grammes, en y joignant le déchet du cassage.

Il restait ensuite deux éléments à déterminer : la quantité de combustible à charger chaque fois et la durée de l'intervalle des chargements.

Avant de commencer chaque essai, on amenait la chaudière au régime auquel elle devait rester pendant les essais. On n'avait donc à s'occuper que de la manière de régler la conduite du feu dans un régime permanent bien établi.

Cela posé, on a cherché, par des essais spéciaux, quelle était la *hauteur* de combustible sur la grille qu'il fallait adopter pour avoir la *meilleure combustion* pour un tirage déterminé ; on faisait chaque fois l'analyse des gaz par un essai rapide avec l'appareil Orsat, de sorte qu'il était facile de voir chaque fois si les conditions de la combustion étaient plus ou moins parfaites. On a conclu de ces essais spéciaux les règles suivantes pour la conduite du feu :

1re RÈGLE. — *Après avoir déterminé par ces essais la hauteur de combustible la plus convenable, étant données la grosseur du combustible et l'importance du tirage, on chargeait chaque fois une quantité de combustible suffisante pour amener la couche de combustible sur la grille à la hauteur fixée.*

Il va de soi que cette épaisseur la plus convenable de la couche de combustible varierait dans des limites très étendues si l'on faisait varier la grosseur du combustible ; mais nous avons dit que l'on opérait toujours avec de la briquette uniforme, cassée en morceaux de grosseur constante ; il en résulte qu'il n'y avait qu'une seule épaisseur de combustible à déterminer pour chaque essai.

Cela posé, il fallait fixer une règle pour déterminer la *durée* de l'intervalle des chargements. A cet effet, on s'est servi des indications du thermomètre à air qui a été décrit ci-dessus. Nous avons vu que cet appareil a été écarté comme instrument de mesure de *valeur absolue* de

la température dans la boîte à fumée, mais qu'il permettait de donner et d'enregistrer fidèlement les *variations* de cette température. Or, après quelques essais, on a trouvé qu'après chaque chargement de combustible, la température commençait par décroître, puis qu'elle croissait, restait assez longtemps à un maximum, puis décroissait assez rapidement. En se basant sur cette observation, on a adopté la règle suivante :

2e RÈGLE. — *On choisissait pour recharger le combustible le moment où la température, après avoir atteint un maximum, commençait à décroître si peu que ce fût.*

L'appareil enregistreur de la température avait été muni, comme il a été dit précédemment, d'un avertisseur électrique ; cet avertisseur était disposé comme on l'a vu pour sonner quand la température baissait et pour ne pas fonctionner quand elle montait ; cette deuxième règle était alors on ne peut plus facile à appliquer pratiquement puisqu'on n'avait qu'à recharger quand la sonnerie commençait à fonctionner, après avoir été silencieuse pendant que la température montait ou restait au maximum.

Telles sont les deux règles précises qui ont servi à conduire le feu dans toutes les expériences. En les appliquant à des expériences répétées dans des conditions identiques, on a obtenu les mêmes résultats ; on était donc certain d'opérer toujours dans les mêmes conditions de combustion et d'avoir une série d'expériences rigoureusement comparables.

On pouvait se demander si ces deux règles, tout en donnant des résultats bien comparables, correspondaient bien aux meilleures conditions pratiques. Pour s'en rendre compte, on a comparé les expériences ainsi faites avec d'autres dans lesquelles on a opéré autrement, en rechargeant, par exemple, avant ou après le tintement de la sonnerie. On a ainsi trouvé que la marche adoptée cor-

respondait aux meilleurs résultats au double point de vue du *maximun de vaporisation totale* et du *maximum de vaporisation par kilogramme de combustible;* par conséquent, cette marche était bien celle qui correspondait aux meilleures conditions de la pratique.

Le tableau ci-dessous résume les chiffres qui ont été adoptés comme épaisseur de combustible sur la grille : les chiffres M représentent les épaisseurs maxima, après la charge ; les chiffres *m* représentent approximativement les épaisseurs minima qui restaient au moment où la sonnerie tintait et où l'on recommençait à charger.

LONGUEUR des tubes	TIRAGE de 25 mill.		TIRAGE de 45 mill.		TIRAGE de 75 mill.	
	M	*m*	M	*m*	M	*m*
	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Tubes de 7m,00. .	145	83	212	138	296	186
— 6 ,00. .	150	90	219	142	302	195
— 5 ,00. .	166	100	231	153	316	207
— 4 ,50. .	180	112	242	164	329	219
— 4 ,00. .	200	132	262	183	348	238
— 3 ,50. .	225	158	290	208	370	261
— 3 ,00. .	255	188	320	238	400	291

Ces chiffres ont été, avec les voûtes en briques et le Tenbrink, très sensiblement les mêmes qu'avec le foyer ordinaire.

Chaque expérience, après l'allumage et la mise en train, était commencée à un tintement de la sonnerie, et terminée, après une durée convenable, à un autre tintement de sonnerie; le niveau d'eau était toujours maintenu constant.

Marche d'une expérience.

Voici comment on dirigeait la marche de chaque expérience :

On commençait par mettre en marche la chaudière pour l'amener au régime normal qu'elle devait conser-

ver pendant tout l'essai; cette mise en marche durait 3/4 d'heure environ. Puis on faisait durer l'expérience 3 heures environ; on la divisait en trois périodes de 1 heure environ chacune, pendant lesquelles on faisait complètement tous les relevés. On pouvait, en comparant ces trois périodes, s'assurer qu'elles donnaient bien les mêmes résultats et qu'il n'y avait pas d'erreurs de relevés; puis on prenait comme indications définitives la moyenne de celles des trois périodes. Nous avons vu que les périodes commençaient et finissaient à un tintement de la sonnerie pour que le feu fût bien dans les mêmes conditions au commencement et à la fin. On veillait aussi à ce que l'eau eût toujours le niveau normal au commencement et à la fin de chaque expérience partielle.

Pour les expériences avec voûtes en briques et Tenbrink, il a fallu régler d'une façon spéciale la marche du clapet destiné à laisser entrer l'air par l'arrière du foyer, clapet dont nous avons parlé ci-dessus. Ce clapet était destiné, comme on l'a vu, à compléter la combustion des gaz au-dessus de la voûte en briques ou du Tenbrink. On a cherché quelle était la meilleure manière de le manœuvrer, en faisant quelques essais dans lesquels on se rendait tout particulièrement compte de la composition des gaz dans la boîte à fumée suivant la manœuvre employée. On a trouvé que la meilleure manière d'opérer *pour avoir la meilleure combustion* consistait à ouvrir le clapet d'une quantité déterminée aussitôt après le chargement de combustible et à le fermer ensuite progressivement de façon à ce qu'il fût complètement fermé une minute et demie environ après la fermeture de la porte. Cette marche étant difficilement réalisable en pratique, on a adopté la suivante qui s'en rapproche très sensiblement et qui est commune au foyer muni de voûtes en briques et au foyer muni du Tenbrink :

En fermant la porte, une fois la charge faite, on ouvre

le clapet d'une quantité a et on le laisse ainsi pendant 30 à 40 secondes; au bout de ce temps, on réduit l'ouverture d'une quantité b, et l'on maintient cette dernière pendant une minute; puis l'on ferme complètement le clapet en le laissant ainsi jusqu'à la charge suivante. La porte de chargement reste, d'ailleurs, absolument fermée entre deux charges. On a trouvé que les quantités a et b ne dépendent pas du tirage, mais varient beaucoup avec la longueur des tubes. Les mêmes valeurs conviennent également aux foyers munis de voûtes en briques et aux foyers munis du Tenbrink.

Le tableau ci-après indique les valeurs trouvées pour a et b en millimètres; il suffit de multiplier ces chiffres par la largeur (835 millimètres) de l'ouverture pour avoir, dans chaque cas, la section de rentrée d'air :

	a	b	
Tubes de 7m,00	35,0	22	
— 6m,00	30,0	18	Les chiffres ci-contre s'appliquent aussi bien aux foyers munis de voûtes en briques qu'aux foyers munis du Tenbrink et conviennent à tous les tirages.
— 5m,00	25,0	14	
— 4m,50	22,5	12	
— 4m,00	20,0	10	
— 3m,50	17,5	8	
— 3m,00	15,0	6	

On a profité des essais qui ont conduit à cette marche pour vérifier que le brassage des gaz se faisait bien, au-dessus de la voûte en briques ou du Tenbrink, en vérifiant que les gaz recueillis dans la boite à fumée soit à la sortie des tubes supérieurs, soit à la sortie des tubes inférieurs, présentaient la même composition chimique.

Relevés divers.

Préalablement à toute expérience, on faisait trois tas de combustible représentant chacun un peu plus que la consommation probable de chacune des trois périodes de

l'expérience. On prélevait, avant l'expérience, un échantillon de 700 grammes environ sur chaque tas; on mélangeait ensemble ces trois prises d'essai, on prélevait sur ce mélange un échantillon et on l'envoyait au laboratoire, qui déterminait la teneur en eau et en cendres. Quant au reste du mélange, il était conservé comme échantillon; on mélangeait ensemble tous les échantillons correspondant à une vingtaine d'expériences successives; c'est sur ce mélange que l'on prélevait l'échantillon à envoyer au laboratoire pour déterminer la composition élémentaire du combustible et son pouvoir calorifique, comme il a été dit ci-dessus.

La consommation d'eau et la consommation de combustible étaient notées comme il a été dit ci-dessus aux paragraphes *Appareils de mesure de l'eau d'alimentation* et *Pesage du combustible*.

Puis, pour chaque période d'expérience, on faisait les relevés suivants :

Quantité d'eau de circulation	Tous les quarts d'heure. Pour la détermination de l'eau entraînée, comme il est dit ci-dessus.
— de condensation	
Température de la vapeur d'échappement	
— de l'eau de circulation : à l'entrée du condenseur	
— de l'eau de circulation : à la sortie du condenseur	
— de l'eau de condensation de la vapeur essayée	
— de l'eau d'alimentation	Toutes les heures.
— de l'eau perdue par l'injecteur	Idem.
— des gaz dans la boîte à fumée	Idem.
Pression de la vapeur dans la chaudière	Tous les quarts d'heure.
Température ambiante	Une fois pendant toute la période de l'expérience.
Pression barométrique	Idem.
Prises de gaz dans la boîte à fumée pour le laboratoire	Une seule prise d'essai moyenne pour l'ensemble des trois périodes de l'expérience.
Analyses à l'appareil Orsat	Autant de fois que cela était nécessaire.
Poids des escarbilles produites pendant toute la période d'expérience et envoi au laboratoire d'un échantillon prélevé sur ces escarbilles	Une fois pour toute l'expérience.

III. Calculs des résultats.

Définitions et notations.

Dans chaque période d'expérience, on obtient immédiatement, par les procédés et appareils décrits précédemment, les chiffres suivants :

P	nombre de kilogr. de combustible brut consommé par heure	Déduits des quantités relatives à la période entière d'expérience.
E	— d'eau fournie à la chaudière par heure	
S	— d'escarbilles recueillies par heure (sous la grille, dans la boîte à fumée, dans les tubes et à la sortie de la cheminée)	
P′	— de charbon brut consommé par heure et par mètre carré de surface de grille	
T	température moyenne des gaz sortant de la boîte à fumée	Mesurés directement.
t	— ambiante	
τ	— de l'eau d'alimentation	
Θ	— de la vapeur à la pression de l'expérience	
x	nombre de kilogrammes d'eau entraînée par la vapeur, pour 100 kilogrammes d'eau fournie à la chaudière	Calculé d'après les chiffres relevés.
π	pouvoir calorifique de 1 kilogramme de combustible sec et privé de cendres provenant du combustible employé	Déterminés par le laboratoire, d'après les procédés que nous avons décrits ci-dessus, sur des échantillons moyens d'une vingtaine d'expériences.
K	nombre de kg de carbone contenus dans 100 kg. de combustible sec et sans cendres, provenant du combustible employé	
H	— d'hydrogène	
O	— d'oxygène	
Az	— d'azote	
γ	nombre de kilogr. de carbone contenus dans 1 kilogramme d'escarbilles	Déterminés à chaque expérience sur des échantillons moyens du combustible employé pendant les trois périodes.
c	— d'eau contenue dans 1 kilogramme de combustible brut	
b	— de cendres contenues dans 1 kilogramme de combustible sec	
v_1	le nombre de litres d'acide carbonique	Contenus dans 100 litres de gaz de boîte à fumée, ramenés à 0° et 760mm de pression; déterminés après chaque expérience sur un échantillon moyen de gaz provenant de l'ensemble des trois périodes de l'expérience.
v_2	— d'oxyde de carbone	
v_3	— d'oxygène	
v_4	— d'azote	

La somme $v_1 + v_2 + v_3 + v_4$ est égale à 100.

Il n'a pas été trouvé d'hydrocarbures dans les gaz de la combustion.

Données de physique adoptées dans les calculs.

On a admis, pour les divers gaz, les densités et capacités calorifiques suivantes :

	Poids d'un litre à 0° et 760 millim. de pression ou poids spécifique	Nombre de calories nécessaires pour élever de 1 degré la température de 1 kilogr. de gaz
Acide carbonique	1gr,977	0,227
Oxyde de carbone	1 ,258	0,245
Oxygène	1 ,429	0,217
Azote	1 ,258	0,244

Tous les chiffres du tableau précédent sont empruntés aux expériences de Regnault; ils sont universellement adoptés dans les traités de physique et de thermodynamique; en ce qui concerne l'acide carbonique la formule de Regnault donne $0{,}187 + 0{,}000266\,t$ entre 0 et 200°; si l'on prend pour t la température moyenne entre les gaz chauds de la boîte à fumée et la température ambiante, soit 150° environ, cette formule donne 0,227, chiffre porté dans le tableau.

En outre, on a admis que :

1 kilogr. de carbone donne 8.083 calories en passant à l'état d'acide carbonique,
— 2.400 — à l'état d'oxyde de carbone,
— 5.683 — de l'état d'oxyde de carbone à l'état d'acide carbonique.

(On remarque que, naturellement, $2.400 + 5.683 = 8.083$.)

Ces chiffres résultent des expériences de Favre et Silbermann (*Annuaire du Bureau des longitudes* pour 1888, pages 620 et 621); ils ont été vérifiés récemment par

Berthelot et Petit qui ont trouvé des résultats à peu près identiques.

Nous rappellerons qu'en poids, il y a :

$\frac{6}{22}$ de carbone et $\frac{16}{22}$ d'oxygène dans l'acide carbonique
$\frac{6}{14}$ de carbone et $\frac{8}{14}$ d'oxygène dans l'oxyde de carbone
} ainsi que cela résulte des équivalents en poids.

De plus, 100 litres d'air à 0° et 760 millim. contiennent { 21 litres d'oxygène. 79 litres d'azote.

Nous désignerons de plus, par { ω la quantité $(1-e)(1-b)$, φ le rapport $\frac{K}{K+H+O+Az}$.

Enfin, nous appellerons :

C le pouvoir calorifique du combustible employé, tel qu'il est, avec ses cendres et son eau.

C_1 le nombre de calories réellement dégagées par la combustion de 1 kilogramme de combustible brut, telle qu'elle s'est effectuée dans l'essai.

C_2 le nombre de calories emmagasinées dans la vapeur sèche produite par 1 kilogramme de combustible brut.

C'_2 le nombre de calories emmagasinées dans l'eau entraînée correspondant à 1 kilogramme de combustible brut brûlé.

C_3 le nombre de calories emportées par les gaz s'échappant de la cheminée et correspondant à 1 kilogramme de combustible brut brûlé.

V le nombre de mètres cubes d'air (à 0° et 760 millim.) fournis à la combustion par kilogramme de combustible brut brûlé.

Calcul de la chaleur totale produite par 1 kilogramme de combustible brut : C_1.

Nous allons montrer comment on a calculé C_1 ou nombre de calories réellement dégagées par la combustion de 1 kilogramme de combustible brut, telle qu'elle s'est effectuée dans l'essai.

Il est évident que C_1 est égal à la valeur suivante :

Nombre de calories qu'aurait produites la combustion complète de 1 kilogramme de combustible brut ou C,

moins nombre de calories qu'aurait fournies, en passant à l'état d'acide carbonique, l'oxyde de carbone qui est contenu dans les gaz de la combustion provenant de 1 kilogramme de combustible brut (que je désignerai par Q_1),

moins nombre de calories qu'aurait fournies, en passant à l'état d'acide carbonique, le carbone qui figure dans les escarbilles recueillies par kilogramme de combustible brut brûlé (que je désignerai par Q_2).

On a donc $C_1 = C - Q_1 - Q_2$.

Nous allons maintenant calculer C, Q_1 et Q_2.

Calcul de C. — D'après les notations ci-dessus, il est évident que C est égal à $\pi \times \omega$, ω étant égal à : $(1-e)(1-b)$.

Calcul de Q_1. — Pour calculer Q_1, rappelons d'abord que 1 kilogramme de *carbone pur* passant en brûlant de l'état d'oxyde de carbone à l'état d'acide carbonique dégage 5.683 calories ; il reste à savoir combien il y a de carbone pur à l'état d'oxyde de carbone dans les gaz de la combustion de 1 kilogramme de *combustible brut*.

Pour cela, il faut d'abord savoir combien il y a de carbone pur réellement brûlé par kilogramme de combustible brut; pour y arriver, il suffit de tenir compte de l'eau et des cendres contenues dans le combustible, puis des escarbilles.

On se rappelle que nous avons appelé :

ω le produit $(1-e)(1-b)$,
φ le rapport $\frac{K}{K+H+O+Az}$.

Cela posé, pour 1 kilogramme de combustible brut, il y a évidemment ω kilogramme de combustible sec et sans cendres, ce qui donne $\omega \times \varphi$ kilogramme de *carbone* pur.

Il y a lieu d'en retrancher le carbone entraîné par les escarbilles ; or, il y a s kilogrammes d'escarbilles pro-

duites par heure, ou $\frac{s}{P}$ par kilogramme de combustible, ce qui donne $\frac{s}{P} \times \gamma$ kilogramme de carbone entraîné par les escarbilles, par kilogramme de combustible brûlé. En définitive, il y a donc : $\omega\varphi - \gamma \frac{s}{P}$ kilogramme de carbone pur réellement brûlé par kilogramme de combustible brut consommé.

Il faut ensuite évaluer la proportion de carbone pur réparti dans l'acide carbonique et l'oxyde de carbone; or, cette proportion est répartie proportionnellement aux nombres :

$$\frac{6}{22} v_1 \times 1{,}977 = 0{,}539 v_1 \text{ dans l'acide carbonique,}$$

$$\frac{6}{14} v_2 \times 1{,}258 = 0{,}539 v_2 \text{ dans l'oxyde de carbone;}$$

donc l'oxyde de carbone contient :

$$\frac{0{,}539 v_2}{0{,}539 v_2 + 0{,}539 v_1} = \frac{v_2}{v_2 + v_1} \text{ du carbone brûlé.}$$

Or, nous venons de voir qu'il y a :

$\omega\varphi - \gamma \frac{s}{P}$ kilogramme de carbone pur brûlé par kilogramme de combustible brut brûlé;

on a donc en définitive :

$$Q_1 = \frac{v_2}{v_2 + v_1} \left(\omega\varphi - \gamma \frac{s}{P} \right) \times 5683 \text{ calories.}$$

Calcul de Q_2. — Le carbone restant dans les escarbilles pèse $\gamma \frac{s}{P}$ par kilogramme de combustible brut; il donnerait en brûlant 8.083 calories par kilogramme de carbone; on a donc :

$$Q_2 = \gamma \frac{s}{P} \times 8083 \text{ calories.}$$

En résumé, l'équation ci-dessus : $C_1 = C - Q_1 - Q_2$ devient :

$$C_1 = \pi\omega - \frac{v_2}{v_2 + v_1} \left(\omega\varphi - \gamma \frac{s}{P} \right) 5683 - \gamma \frac{s}{P} 8083.$$

Calcul de la chaleur emmagasinée dans la vapeur sèche produite par 1 kilogramme de combustible brut : C_2.

Nous allons montrer comment on a calculé C_2 ou nombre de calories emmagasinées dans la vapeur sèche produite par 1 kilogramme de combustible brut.

Le nombre de kilogrammes de vapeur sèche produite dans une expérience est égal à : $E \times \frac{100 - x}{100}$ (nous avons vu ci-dessus comment x a été calculé).

Il en résulte que le nombre de kilogrammes de vapeur sèche produite par un kilogramme de combustible brut est égal à : $\frac{E}{P} \times \frac{100 - x}{100}$.

Or, on sait que la chaleur emmagasinée dans 1 kilogramme de vapeur sèche est égale à :

$$(606{,}5 + 0{,}305\,\Theta - \tau) \text{ calories;}$$

on a donc en résumé :

$$C_2 = \frac{E}{P} \times \frac{100 - x}{100} (606{,}5 + 0{,}305\,\Theta - \tau) \text{ (*).}$$

(*) Si l'on considère la vapeur employée pour le fonctionnement de l'injecteur Giffard, on voit de suite que la plus grande partie de la chaleur contenue dans cette vapeur rentre dans la chaudière. Il y a cependant des pertes de chaleur que nous allons examiner de plus près. Il y a d'abord une légère quantité

Calcul de la chaleur emmagasinée dans l'eau entraînée par la vapeur correspondant à 1 kilogramme de combustible brut : C'_2.

Quelle est la valeur de C'_2 ou nombre de calories emmagasinées dans l'eau entraînée correspondant à 1 kilogramme de combustible brut brûlé?

Cette valeur est égale à :

$$C'_2 = \frac{E}{P} \times \frac{x}{100} (\Theta - \tau).$$

Comme nous l'avons dit, cette valeur a toujours été trouvée assez voisine de zéro pour être négligée.

Calcul de la chaleur emportée par les gaz de la combustion correspondant à 1 kilogramme de combustible brut : C_3.

Quelle est la valeur de C_3 ou nombre de calories emportées par les gaz s'échappant dans la cheminée et correspondant à 1 kilogramme de combustible brut brûlé?

Le combustible et l'air fournis pour la combustion ont été pris à la température t, et les gaz de la combustion sont sortis de la cheminée à la température T. La perte

de chaleur perdue: c'est celle qui est emportée par l'eau du trop-plein de l'injecteur; on s'est assuré que cette quantité de chaleur est négligeable et on n'en a pas tenu compte. En outre, il existe une autre perte de chaleur qui est la suivante : l'injecteur produit un travail utile, celui du travail de l'alimentation; si nous désignons par t ce travail, il est évident que la chaleur correspondant à ce travail est égale à $\frac{t}{E}$, (E étant l'équivalent mécanique de la chaleur). En faisant le calcul de $\frac{t}{E}$, on trouve qu'il ne dépasse pas $\frac{1}{2.000}$ de la valeur de C_2; c'est pourquoi il n'en a pas été tenu compte.

de chaleur par les gaz de la combustion est la chaleur qu'abandonneraient ces gaz en se refroidissant de T à t.

Pour évaluer cette perte de chaleur, appelons W un volume de gaz chauds de la combustion tel que ces gaz, ramenés à 0° et à 760 millimètres de pression, cubent un volume de 100 litres; voici comment se pose la question :

1° Quelle est la quantité de chaleur perdue par W litres de gaz de la combustion en se refroidissant de T à t?

2° Quelle est la quantité de combustible brut brûlé correspondant au volume W litres de gaz chauds de la combustion?

Occupons-nous d'abord du premier point.

On a vu que les W litres de gaz chauds de la combustion ramenés à 0° et à 760 millimètres se décomposent ainsi qu'il suit :

v_1 litres d'acide carbonique
v_2 litres d'oxyde de carbone
v_3 litres d'oxygène
v_4 litres d'azote
} le total $v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 100$ litres.

Ces divers volumes de gaz représentent, en poids, les valeurs suivantes :

$v_1 \times 1.977$ grammes d'acide carbonique,
$v_2 \times 1.258$ — d'oxyde de carbone,
$v_3 \times 1.429$ — d'oxygène,
$v_4 \times 1.258$ — d'azote.

En tenant compte des chaleurs spécifiques de ces gaz indiquées ci-dessus, on trouve que ces W litres de gaz de combustion en se refroidissant de T à t perdraient une quantité de chaleur égale à :

$$(T - t)\left(\begin{array}{c} v_1 \times 1,977 \times \frac{0,227}{1.000} + v_2 \times 1.258 \times \frac{0,245}{1.000} \\ + v_3 \times 1.429 \times \frac{0,217}{1.000} + v_4 \times 1.258 \times \frac{0,244}{1.000} \end{array}\right)$$
$$= \frac{T - t}{1.000} (0,449\, v_1 + 0,308\, v_2 + 0,310\, v_3 + 0,307\, v_4).$$

Cherchons maintenant quelle est la quantité de combustible brut brûlé pour produire W litres de gaz chauds de la combustion.

Les W litres de gaz chauds de la combustion, dont il vient d'être question, contiennent la quantité suivante de carbone pur :

$$\frac{6}{22}\times 1.977\,v_1+\frac{6}{14}\times 1.258\,v_2=(0{,}539\,v_1+0{,}539\,v_2)\text{ grammes de carbone pur.}$$

(Les chiffres $\frac{6}{22}$ et $\frac{6}{14}$ sont obtenus au moyen des équivalents.)

Or, nous avons vu que chaque kilogramme de combustible brut donne :

$$\left(\omega\varphi-\gamma\frac{s}{P}\right)\text{ kilogramme de carbone pur brûlé.}$$

Il en résulte que les W litres en question proviennent de :

$$\frac{1}{1000}\times\frac{0{,}539\,v_1+0{,}539\,v_2}{\omega\varphi-\gamma\frac{s}{P}}\text{ kilogrammes de combustible brut.}$$

Il faut enfin diviser par cette valeur celle qui a été obtenue au 1° ci-dessus pour avoir C_3. On a donc en résumé :

$$C_3=\frac{0{,}449\,v_1+0{,}308\,v_2+0{,}340\,v_3+0{,}307\,v_4}{0{,}539\,v_1+0{,}539\,v_2}\left(\omega\varphi-\gamma\frac{s}{P}\right)(T-t).$$

On n'a pas tenu compte de la chaleur emportée dans la boîte à fumée, d'une part par la vapeur de l'eau hygrométrique du combustible, d'autre part par la vapeur de l'eau fournie par la combustion de l'hydrogène du combustible; l'erreur commise en opérant ainsi est absolument négligeable avec le combustible qui a été employé;

il en serait autrement si l'on opérait avec un combustible très mouillé ou très riche en hydrogène.

Calcul du volume d'air en mètres cubes dépensé par kilogramme de combustible brut : V.

Quelle est enfin la valeur de V ou nombre de mètres cubes d'air (à 0° et à 760 millimètres de pression) fournis à la combustion par kilogramme de combustible brut brûlé?

Considérons encore les W litres de gaz chauds de la combustion cubant 100 litres lorsqu'ils sont ramenés à 0° et à 760 millimètres; ils contiennent à froid v_4 litres d'azote qui proviennent de :

$$\frac{1}{1000}\times\frac{100}{79}\times v_4\text{ mètres cubes d'air mesuré à 0° et à 760 millim.}$$

Or, nous venons de voir que ces W litres de gaz chauds de la combustion proviennent de :

$$\frac{1}{1000}\times\frac{0{,}539\,v_1+0{,}539\,v_2}{\omega\varphi-\gamma\frac{s}{P}}\text{ kilogramme de combustible brut.}$$

On a donc, en résumé :

$$V=\frac{100}{79}\times\frac{v_4}{0{,}539\,v_1+0{,}539\,v_2}\times\left(\omega\varphi-\gamma\frac{s}{P}\right)$$
$$=2{,}35\times\frac{v_4}{v_1+v_2}\times\left(\omega\varphi-\gamma\frac{s}{P}\right).$$

IV. Résultats obtenus.

Courbes et tableaux.

La Pl. VI, *fig.* 1, 2, 3 et 4, représente des courbes figurant les valeurs du combustible brûlé par heure P, d'après les résultats trouvés dans les expériences; les

abscisses représentent le nombre de mètres de longueur des tubes et les ordonnées le nombre de kilogrammes de combustible brut brûlé par heure.

La Pl. VII, *fig.* 1, 2, 3 et 4, représente des courbes figurant les valeurs E de l'eau vaporisée par heure, d'après les résultats des expériences; les abscisses représentent le nombre de mètres de longueur de tubes et les ordonnées le nombre de kilogrammes d'eau vaporisée par heure.

La Pl. VIII, *fig.* 1, 2, 3 et 4, représente des courbes figurant les valeurs de $\frac{E}{P}$ ou quotient des deux valeurs précédentes; c'est la quantité d'eau en kilogrammes vaporisée par kilogramme de combustible brut ou *rendement économique;* les abscisses représentent le nombre de mètres de longueur de tubes et les ordonnées le nombre de kilogrammes d'eau vaporisée par kilogramme de combustible brut.

La Pl. IX, *fig.* 1, 2, 3 et 4, représente des courbes qui figurent les valeurs de la température dans la boîte à fumée; les abscisses représentent le nombre de mètres de longueur de tubes et les ordonnées la température en degrés centigrades.

On a eu soin de figurer, sur les courbes des Pl. VI, VII, et IX, les points qui représentent les résultats bruts des essais. On voit que si l'on traçait des courbes passant par ces points, elles accuseraient des irrégularités qui ne doivent pas exister; cela tient à de légères variations dans les conditions d'expérience, variations qu'il est toujours impossible d'éviter complètement. Aussi, après avoir reporté sur le papier les points correspondant aux résultats bruts trouvés, a-t-on tracé les courbes qui s'en rapprochent le mieux tout en restant bien continues; ce sont ces courbes ainsi rectifiées qui sont figurées sur ces planches.

Les tableaux 1, 2 et 7 (p. 210-213) traduisent en chiffres les indications ainsi rectifiées.

Les courbes de la Pl. VIII et les chiffres du tableau 3 ont été établis exactement en divisant les valeurs de E rectifiées par les valeurs de P rectifiées.

Nous allons maintenant examiner de plus près les résultats consignés dans les tableaux. On trouvera dans les chiffres quelques légères différences avec ceux des tableaux qui ont été publiés dans le mémoire précité de M. Henry; elles tiennent en partie à ce que nous avons établi des rectifications par courbes dans des tableaux où M. Henry ne l'avait pas fait; elles tiennent aussi à quelques corrections qui ont été faites quand on a repris les calculs.

Combustible brut brûlé par heure (activité de la combustion) : P.

La Pl. VI, *fig.* 1, 2, 3, 4 et le tableau n° 1 montrent comment, toutes choses égales d'ailleurs, l'activité de la combustion ou quantité de combustible brut brûlé par heure, varie avec la nature du foyer, la longueur des tubes et le tirage. Il ne faut pas oublier que chaque expérience donne toujours les chiffres relatifs, en même temps, au *maximum de puissance* de la chaudière et au meilleur *rendement économique* que l'on puisse réaliser dans les conditions de cette expérience.

On a tiré du tableau n° 1 les conclusions suivantes .

1° L'activité de la combustion P diminue un peu quand on emploie la voûte en briques ou le bouilleur Tenbrink; c'est la voûte longue qui la réduit le plus. Le Tenbrink et la voûte courte ont sensiblement le même effet;

2° L'activité de la combustion croît au fur et à mesure que la longueur des tubes diminue; l'augmentation varie

de 11 à 19 p. 100 et est de 15 p. 100 en moyenne, quand on passe des tubes de 5 mètres aux tubes de 3 mètres; cette augmentation est d'autant moins accusée que les tirages sont plus forts;

3° L'activité de la combustion croît dans de fortes proportions quand le tirage augmente; quand on passe du tirage de 45 millimètres au tirage de 25 millimètres, P diminue de 25 à 31 p. 100, suivant le foyer et la longueur des tubes; il augmente, au contraire, de 27 à 33 p. 100 quand on passe du tirage de 45 à celui de 75 millimètres. L'influence du tirage est sensiblement la même, quel que soit le foyer; elle diminue régulièrement, mais peu, quand on raccourcit les tubes; cette influence se traduit, pour chaque millimètre de variation du tirage dans les limites expérimentées, par une augmentation moyenne de 1 p. 100 au-dessus de 45 millimètres et une diminution moyenne de 1,4 p. 100 au-dessous.

Eau vaporisée par heure (puissance) : E.

La Pl. VII, *fig.* 1, 2, 3, 4 et le tableau n° 2 montrent comment, toutes choses égales d'ailleurs, la puissance E varie avec la nature du foyer, la longueur des tubes et le tirage; on en tire les conclusions suivantes :

1° La voûte longue la diminue toujours, d'autant plus que les tubes sont plus longs. La voûte courte la diminue pour les tubes longs et l'augmente pour les tubes courts: il y a sensiblement équilibre pour les tubes de 4 mètres à $4^m,50$. Le Tenbrink agit comme la voûte courte, mais plus énergiquement; c'est pour les tubes de 5 mètres qu'il y a équilibre, avec ce bouilleur; au-dessous de 5 mètres, la présence du Tenbrink augmente la puissance; avec les tubes courts et le tirage de 45 millimètres, cette augmentation varie de 3 à 5 p. 100. En général, les grands tirages réduisent les écarts et atténuent un peu l'influence de la longueur des tubes.

2° Tout d'abord la puissance augmente d'une façon continue, au fur et à mesure qu'on raccourcit les tubes à partir de 7 mètres; elle atteint un maximum entre 4 mètres et $4^m,50$, pour diminuer ensuite quand on emploie des tubes de plus en plus courts. Cela s'explique facilement; en effet, quand on diminue la longueur des tubes à partir de 7 mètres, la résistance des gaz à leur passage dans les tubes diminue; il en résulte que, à égalité de tirage, l'activité de la combustion P augmente, ce qui tend à augmenter E. D'autre part, quand on diminue les tubes, le rendement économique $\frac{E}{P}$ diminue, à cause de la diminution de surface de chauffe; cela tend à diminuer E.

Cela posé, quand on diminue les tubes de 7 mètres à $4^m,50$ ou 4 mètres, la cause précédente d'augmentation de E l'emporte sur la cause de diminution, de sorte que E augmente jusqu'à un maximum. Ensuite, quand on diminue les tubes au-dessous de $4^m,50$ ou 4 mètres, la cause de diminution l'emporte sur la cause d'augmentation, parce qu'avec les tubes très courts, le rendement économique $\frac{E}{P}$ devient très mauvais.

Avec les voûtes en briques et le Tenbrink, les variations sont moins grandes.

Le tableau suivant, établi d'après le tableau n° 2, indique la valeur relative de la puissance avec tubes de 3 mètres par rapport à la puissance avec tubes de 5 mètres représentée par 100.

TIRAGE	FOYER ordinaire	VOUTE longue	VOUTE courte	TENBRINK
25 millimètres.	94	102	101	99
45 —	93	97	98	98
75 —	92	95	96	96

3° Le tirage agit sur la puissance de production de la même manière, mais dans une moins forte mesure que sur l'activité de la combustion; quand on passe du tirage de 45 à celui de 25 millimètres, E diminue de 23 à 31 p. 100 suivant le foyer et la longueur des tubes; il augmente au contraire de 23 à 29 p. 100 quand on passe du tirage de 45 à celui de 75 millimètres. L'influence du tirage se traduit ainsi pour chaque millimètre de variation, par une augmentation moyenne de 0,8 p. 100 au-dessus de 45 millimètres et par une diminution moyenne de 1,3 p. 100 au-dessous.

Comme on le voit, il n'est question ici que de la vaporisation E, sans parler de l'eau entraînée par la vapeur. Nous avons vu que cette eau entraînée a été déterminée avec précision pendant tout le cours des expériences et qu'elle a toujours été trouvée assez voisine de zéro pour qu'on n'en tienne pas compte. Nous ayons vu aussi que, dans les machines en service, la proportion d'eau entraînée ne doit pas être négligeable, ce qui a forcément pour effet d'augmenter, en apparence seulement, la puissance de vaporisation.

Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut (rendement économique) : $\frac{E}{P}$.

La Pl. VIII, *fig.* 1, 2, 3, 4 et le tableau n° 3 montrent comment, toutes choses égales d'ailleurs, la nature du foyer, la longueur des tubes et le tirage agissent sur le rendement économique de la chaudière. Comme on l'a vu ci-dessus, les chiffres du tableau n° 3 et les courbes de la Pl. VIII ont été obtenus en divisant les chiffres rectifiés du tableau n° 2 par ceux du tableau n° 1.

1° La voûte longue augmente d'autant plus le rendement économique que les tubes sont plus courts et le

tirage plus énergique; la voûte courte agit dans le même sens, mais moins fortement; le Tenbrink produit sensiblement les mêmes effets que la voûte longue. Somme toute, au tirage ordinaire de 45 millimètres et pour les tubes moyens, la voûte courte donne une amélioration de 6 p. 100; la voûte longue et le Tenbrink de 8 p. 100. L'amélioration atteint 9 et 12 p. 100 pour les tubes de 3 mètres.

2° $\frac{E}{P}$ décroît constamment, quand on raccourcit les tubes, et d'autant plus vite qu'ils sont plus courts. Le tableau suivant indique la valeur de la réduction p. 100 quand on passe des tubes de 5 mètres aux tubes de 3 mètres; cette réduction varie de 14 à 20 p. 100; elle est de 16 p. 100 en moyenne :

TIRAGE	FOYER ordinaire	VOUTE longue	VOUTE courte	TENBRINK
25 millimètres.	18	14	15	15
45 —	19	14	16	15
75 —	20	15	16	15

La réduction n'est que de 2,6 p. 100 en moyenne pour le foyer ordinaire et de 1,5 à 2 p. 100 pour les autres, quand on passe des tubes de 5 mètres à ceux de $4^m,50$; elle est de 7 p. 100 en moyenne pour le foyer ordinaire et de 5 p. 100 pour les autres, quand on passe des tubes 5 de mètres à ceux de 4 mètres; elle va ensuite en s'accélérant rapidement à partir de 4 mètres.

3° $\frac{E}{P}$ diminue constamment quand le tirage augmente, et d'autant plus que les tubes sont plus courts. L'influence de l'augmentation du tirage sur la diminution de $\frac{E}{P}$ est plus grande pour le foyer ordinaire que

pour les autres et pour la voûte courte que pour la voûte longue et le Tenbrink. Quand on passe du tirage de 45 millimètres à ceux de 25 ou de 75 millimètres, le rendement économique prend les valeurs relatives indiquées par le tableau suivant :

TIRAGE	FOYER ordinaire	VOUTE longue	VOUTE courte	TENBRINK
25 millimètres.	103,6 à 104,2	101,7 à 102,7	102,6 à 103	101,3 à 101,6
45 —	100	100	100	100
75 —	94,1 à 95,5	97 à 98	97 à 97,5	95,9 à 96,6

Quantité d'escarbilles produites pour 1.000 *kilogrammes de combustible brut.*

Le tableau n° 4 indique, pour chaque essai, la quantité d'escarbilles produites par 1.000 kilogrammes de combustibles brut brûlé. On a porté sur ce tableau les résultats bruts des expériences sans les rectifier au préalable par des courbes, ces résultats montrant que la longueur des tubes n'a pas d'influence sur la quantité d'escarbilles produites ; mais on y a inscrit les moyennes de ces chiffres bruts, moyennes dont on se servira plus loin. Voici ce qu'on peut en conclure :

1° La présence, dans le foyer, d'une voûte ou d'un bouilleur Tenbrink diminue beaucoup cette quantité ; c'est la voûte longue qui a le plus d'effet, puis la voûte courte, enfin le Tenbrink ; mais, aux tirages ordinaires, l'effet est sensiblement le même pour les trois appareils ; le poids d'escarbilles est réduit de 45 p. 100.

2° Le tirage influe beaucoup sur la quantité d'escarbilles produites ; dans les limites des essais, cette quantité est, toutes choses égales d'ailleurs, sensiblement proportionnelle au tirage.

Degré d'imperfection de la combustion.

Nous avons vu que v_1 et v_2 représentent les volumes relatifs d'acide carbonique et d'oxyde de carbone produits par la combustion. Considérons le rapport $\frac{v_2}{v_2 + v_1}$; ce rapport représente, *à un coefficient constant près*, le rapport de la quantité de chaleur non développée par le carbone qui reste à l'état d'oxyde de carbone, au lieu de passer à l'état d'acide carbonique, à la quantité de chaleur totale qui aurait été développée si tout le carbone était passé à l'état d'acide carbonique ; en effet, dans les volumes v_2 et v_1, nous avons les poids de carbone :

$$v_2 \times 1.258 \times \frac{6}{14} = v_2 \times 0{,}539,$$

et

$$v_1 \times 1.977 \times \frac{6}{22} = v_1 \times 0{,}539,$$

qui ont donné :

$$(v_2 \times 0{,}539 \times 2.400 + v_1 \times 0{,}539 \times 8.083) \text{ calories},$$

alors qu'ils auraient donné, s'ils avaient brûlé complètement :

$$(v_2 \times 0{,}539 + v_1 \times 0{,}539)\ 8.083 \text{ calories}.$$

La perte relative de chaleur est donc :

$$\frac{v_2}{v_2 + v_1} \times \frac{8.083 - 2.400}{8.083} = 0{,}703\ \frac{v_2}{v_2 + v_1}.$$

Le rapport $\frac{v_2}{v_2 + v_1}$ mesure donc, à un coefficient constant près, la perte relative de chaleur due à l'imperfection de la combustion ; nous le désignerons, pour nous conformer à l'usage, par le symbole $\frac{CO}{CO + CO^2}$, et nous

indiquerons au tableau n° 5 les valeurs de $100\,\frac{CO}{CO+CO^2}$.

On peut tirer du tableau n° 5 les conclusions suivantes :

1° L'addition, dans le foyer, d'une voûte en briques ou d'un Tenbrink, améliore toujours la combustion ; l'effet des trois appareils paraît être sensiblement le même à ce point de vue. Cette conclusion a une importance considérable ; elle corrobore les résultats de la pratique qui a consacré l'usage de ces appareils.

2° Plus le tirage augmente, moins la combustion est parfaite avec le foyer ordinaire. L'influence du tirage devient très faible, tout en restant de même sens, avec les voûtes en briques et le Tenbrink. Somme toute, on peut dire que la perfection de la combustion ne varie plus sensiblement avec le tirage quand le foyer est muni d'une voûte en briques ou d'un Tenbrink et que la valeur du rapport ci-dessus reste égale à 8 p. 100 environ en moyenne.

Volume d'air en mètres cubes dépensé par kilogramme de combustible brut : V.

Le tableau n° 6 donne, en mètres cubes, le volume d'air employé dans chaque cas pour la combustion de 1 kilogramme de combustible brut ; on a vu comment ce volume se calcule, il varie peu :

1° Il est légèrement plus grand pour le foyer ordinaire que pour les foyers avec voûte ou Tenbrink ;

2° La longueur des tubes ne semble pas avoir sur lui une influence bien définie ;

3° Il diminue quand le tirage augmente.

Il est intéressant de comparer ce volume d'air avec celui qui aurait été obtenu avec une combustion théoriquement parfaite. Le combustible sec et privé de cendres contenait, avons-nous dit, 88,51 p. 100 de carbone,

4,50 p. 100 d'hydrogène ; cela correspondait, en moyenne, à 83 p. 100 de carbone et 4,20 p. 100 d'hydrogène pour le combustible naturel. La quantité d'oxygène nécessaire à la combustion parfaite du carbone et de l'hydrogène de ce combustible serait la suivante pour 1 kilogramme de combustible brûlé :

Pour le carbone :

$$0^{kg},830 \times \frac{\text{équivalent de } O^2}{\text{équivalent de C}} = 0^{kg},830 \times \frac{16}{6} = 2^{kg},213 \text{ d'oxygène,}$$

Pour l'hydrogène :

$$0^{kg},042 \times \frac{\text{équivalent de O}}{\text{équivalent de H}} = 0^{kg},042 \times \frac{8}{1} = 0^{kg},336 \text{ d'oxygène,}$$

$$\text{Total} = 2^{kg},549 \text{ d'oxygène.}$$

Ces $2^{kg},549$ d'oxygène cubent $\frac{2^{kg},549}{1,429} = 1^{m^3},783$.

Or, il y a en volume 21 parties d'oxygène pour 100 parties d'air, cela correspond donc à $1^{m^3},783 \times \frac{100}{21} = 8,490$ mètres cubes.

On voit, d'après le tableau n° 6, que les valeurs de V ont toujours été voisines de ce chiffre théorique et un peu supérieures à lui.

Pour le tableau n° 6, comme pour les tableaux n^{os} 4 et 5, on a porté les chiffres bruts et on a donné des moyennes, parce que les longueurs de tubes ne paraissent pas avoir d'influence sur les résultats.

Température des gaz dans la boîte à fumée.

La Pl. IX, *fig.* 1, 2, 3, 4 et le tableau n° 7 montrent comment les températures moyennes dans la boîte à fumée ont varié au cours des expériences.

L'examen des chiffres de ce tableau conduit aux remarques suivantes :

1° L'emploi d'une voûte ou d'un Tenbrink réduit toujours la température des gaz; les effets de la voûte longue et du Tenbrink sont sensiblement les mêmes et se traduisent par une diminution moyenne de 4 à 6 p. 100 du nombre de degrés; la voûte courte ne donne que de 1 à 3 p. 100 de diminution moyenne;

2° La température augmente constamment quand on raccourcit les tubes; si l'on passe des tubes de 5 mètres à ceux de 3 mètres, elle monte, en moyenne, de 40 à 50 p. 100; les variations sont d'autant plus grandes que le tirage est plus élevé, elles ne sont pas influencées sensiblement par la nature du foyer;

3° La température augmente toujours avec le tirage; elle monte de 20 p. 100 en moyenne, quand on passe du tirage de 25 millimètres à celui de 75 millimètres, la différence la plus forte correspondant aux tubes les plus courts.

Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion : $100\,\frac{C_1}{C}$.

Nous avons vu que π représente le pouvoir calorifique de 1 kilogramme du combustible sec et privé de cendres et $C = \pi \times \omega$ le pouvoir calorifique de 1 kilogramme du combustible tel qu'il est avec son eau et ses cendres. Nous avons vu aussi comment on calcule C_1 ou nombre de calories réellement dégagées par la combustion de 1 kilogramme de combustible brut, telle qu'elle s'est effectuée dans l'essai; nous avons vu que cette valeur de C_1 s'obtient en retranchant de C la chaleur que produirait la combustion complète de l'oxyde de carbone restant dans les gaz de la combustion et des escarbilles recueillies sous la grille dans les tubes, dans la boîte à fumée et dans la cheminée. Cela posé, le tableau n° 8

montre les valeurs du rapport $100\,\frac{C_1}{C}$ calculées pour les divers essais; ce rapport donne la mesure de la valeur de la chaudière, considérée comme appareil de combustion. Il résulte de ce tableau les conséquences suivantes :

1° Le rapport $\frac{C_1}{C}$ est plus faible, de 3 à 4 p. 100 en moyenne, pour le foyer ordinaire que pour les autres; l'influence de ces derniers est sensiblement la même.

2° Le rapport $\frac{C_1}{C}$ diminue très légèrement quand le tirage augmente. On a porté sur le tableau n° 8 les résultats bruts; la longueur des tubes ne paraît pas agir nettement sur le rapport $\frac{C_1}{C}$, aussi a-t-on donné les moyennes des chiffres pour le tableau n° 8.

Si l'on se reporte à la formule qui donne la valeur de C_1, on remarquera que si le combustible employé ne varie ni comme composition élémentaire, ni comme teneur en eau et en cendres (ce qui est à très peu près vrai pour nos expériences), C_1 et par suite $\frac{C_1}{C}$ ne dépendent que de $\frac{v_2}{v_2 + v_1}$, et de la quantité et de la nature des escarbilles produites; les valeurs de $\frac{v_2}{v_2 + v_1}$ données au tableau n° 5 sous la forme $100\,\frac{CO}{CO + CO^2}$ qui n'en est que le produit par 100 et les quantités d'escarbilles données au tableau n° 4 montrent dans quelle mesure la quantité relative de chaleur non développée doit être attribuée soit à l'imperfection de la combustion, soit aux escarbilles produites, la composition des escarbilles n'ayant que peu varié dans nos essais et n'ayant eu par suite que peu d'influence.

Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur : $100\,\frac{C_2}{C_1}$.

Nous avons montré comment on calcule C_2 ou nombre de calories emmagasinées dans la vapeur sèche produite par 1 kilogramme de combustible brut; nous avons vu également qu'il n'y avait pas lieu de tenir compte de la chaleur emportée par l'eau entraînée, cette dernière étant en quantité négligeable.

Cela posé, le rapport $100\,\frac{C_2}{C_1}$ mesure évidemment le degré de perfection de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur. Le tableau n° 9 indique les valeurs trouvées pour le rapport $100\,\frac{C_2}{C_1}$. Pour obtenir les chiffres de ce tableau, les valeurs de C_2 ont été calculées en fonction des valeurs de $\frac{E}{P}$ rectifiées; puis les valeurs du dénominateur C_1 ont été obtenues en prenant les *moyennes* du tableau n° 8 multipliées par $\frac{C}{100}$. Le tableau n° 9 montre que les variations du rapport $100\,\frac{C_2}{C_1}$ sont assez semblables à celles de $100\,\frac{E}{P}$ qui représente le coefficient économique de la chaudière considérée à la fois comme appareil de combustion et d'échange de chaleur. Voici, en outre, les conclusions qu'on peut tirer de ce tableau :

1° L'addition d'une voûte ou d'un Tenbrink dans le foyer augmente nettement le rapport $\frac{C_2}{C_1}$, sauf de rares exceptions qui ne se présentent qu'avec des tubes longs;

l'augmentation relative est d'autant plus grande que les tubes sont plus courts et le tirage plus élevé et elle varie de 0 à 11 p. 100. L'influence du Tenbrink est la même que celle de la voûte longue et plus grande que celle de la voûte courte. Pour les tubes de 4 mètres à $4^m,50$ et les tirages ordinaires, l'avantage du Tenbrink et de la voûte longue est de 5 p. 100 et celui de la voûte courte de 4 p. 100 par rapport au foyer ordinaire.

2° Le rapport $\frac{C_2}{C_1}$ décroît rapidement quand on raccourcit les tubes; la décroissance est plus rapide avec le foyer ordinaire qu'avec les autres foyers; avec les tirages ordinaires, si l'on passe des tubes de 5 mètres aux tubes de 3 mètres, elle est de 18 p. 100 pour le foyer ordinaire, de 15 p. 100 pour la voûte courte, la voûte longue et le Tenbrink.

3° Toute augmentation de tirage se traduit par une diminution de $\frac{C_2}{C_1}$; la diminution est d'autant plus sensible que les tubes sont plus courts, elle est généralement plus considérable pour le foyer ordinaire que pour les autres.

Les chiffres du tableau n° 9 étant obtenus au moyen des chiffres rectifiés du tableau n° 3 et des chiffres moyens du tableau n° 8, il a été inutile de les rectifier de nouveau.

Proportion de chaleur entraînée par les gaz de la combustion : $100\,\frac{C_3}{C_1}$.

Nous avons vu ci-dessus comment l'on calcule C_3 ou nombre de calories emportées par les gaz s'échappant dans la cheminée et correspondant à 1 kilogramme de combustible brut brûlé.

Le rapport $\frac{C_3}{C_1}$ représente la valeur de cette chaleur

perdue, relativement à la chaleur C_1, réellement dégagée par la combustion de 1 kilogramme de combustible. Le tableau n° 10 donne les valeurs de $100\frac{C_3}{C_1}$ pour les divers essais; ce tableau a été établi en calculant directement les valeurs de C_3 et C_1 au moyen des données des expériences et en rectifiant tous les résultats par des courbes qui ne figurent pas sur les planches. On peut tirer de ce tableau les conclusions suivantes :

1° La proportion de chaleur entraînée par les gaz est sensiblement plus grande avec le foyer ordinaire qu'avec les autres foyers; c'est avec la voûte longue que la perte est généralement la plus petite.

2° $\frac{C_3}{C_1}$ augmente constamment quand on raccourcit les tubes et d'autant plus vite que le tirage est plus fort; au tirage ordinaire, quand on passe des tubes de 5 mètres à ceux de 3 mètres, l'augmentation est de 44 p. 100 pour le foyer ordinaire, de 50 p. 100 pour la voûte longue, de 51 p. 100 pour la voûte courte, et de 52 p. 100 pour le Tenbrink.

3° $\frac{C_3}{C_1}$ augmente sensiblement avec le tirage.

Proportion de chaleur perdue par conductibilité et rayonnement: $100\ \frac{C_4}{C_1}$.

Nous avons vu comment on a calculé :

C_1 ou chaleur totale produite,
C_2 ou chaleur emmagasinée dans la vapeur,
C_3 ou chaleur entraînée par les gaz de la combustion.

Si nous appelons C_4 la chaleur perdue par conductibilité et rayonnement, il est clair que l'on a :

$$C_1 = C_2 + C_3 + C_4, \quad \text{donc :} \quad C_4 = C_1 - (C_2 + C_3).$$

Cela posé, le tableau n° 11 donne les valeurs de $100\ \frac{C_4}{C_1}$ pour les divers essais; on peut en tirer les conclusions suivantes :

1° Le rapport $\frac{C_4}{C_1}$ est généralement plus grand pour le foyer ordinaire que pour les autres, c'est le Tenbrink qui donne la valeur la plus petite;

2° Le rapport $\frac{C_4}{C_1}$ augmente rapidement quand on raccourcit les tubes; si l'on passe des tubes de 5 mètres à ceux de 3 mètres, aux tirages moyens, le rapport $100\frac{C_4}{C_1}$ varie en nombres ronds, de 4 à 14 pour le foyer ordinaire, de 4 à 11 pour la voûte longue, de 4 à 12 pour la voûte courte et de 3 à 11 pour le Tenbrink;

3° Le rapport $\frac{C_4}{C_1}$ augmente avec le tirage d'autant plus vite que les tubes sont plus longs.

Répartition de la chaleur totale.

Le tableau n° 12 résume les tableaux n^{os} 8, 9, 10 et 11 et montre comment se répartit la chaleur totale que produirait la combustion complète du combustible employé, représentée par 1.000 entre les quatre éléments suivants :

$C - C_1$ ou chaleur non dégagée à raison de l'oxyde de carbone qui reste dans les gaz de la combustion et des escarbilles produites,
C_2 ou chaleur emmagasinée dans la vapeur produite,
C_3 ou chaleur entraînée par les gaz de la combustion,
C_4 ou chaleur perdue par rayonnement et conductibilité.

V. Expériences complémentaires.

Expériences avec grille plus ou moins réduite.

Nous avons vu dans le programme qu'il a été fait 81 expériences, d'après lesquelles ont été établis tous les tableaux dont nous venons de rendre compte.

Ces expériences faites avec grille entière ont été toutes reproduites d'une part avec la grille réduite de 1/4 et, d'autre part, avec la grille réduite de 1/2 ; cette réduction de la surface de la grille a été obtenue en l'obstruant avec des briques réfractaires, mises dans la partie avant du foyer.

Il n'est pas possible de rendre compte ici de toutes ces expériences, parce qu'il faudrait donner trois fois plus de courbes et de tableaux qu'il n'y en a dans ce mémoire; mais nous allons en résumer brièvement les résultats en les comparant aux autres.

Tout d'abord, il résulte de ces expériences que la quantité de combustible brut brûlée par heure, P, décroît en moyenne de :

9,25 p. 100 environ,			lorsqu'on réduit la grille d'un quart.	Que le foyer contienne ou non une voûte ou un Tenbrink et quelle que soit la longueur des tubes.
32 p. 100 avec le tirage de	25 millim.	lorsqu'on réduit la grille de moitié.		
27,5 p. 100 —	45 millim.			
25 p. 100 —	75 millim.			

Ces chiffres résument en quelque sorte toutes les expériences sur les grilles réduites; ils permettent de se rendre compte de l'influence d'une réduction plus ou moins grande de la grille dans une chaudière dont tous les éléments, par ailleurs, restent les mêmes.

On peut mettre les mêmes résultats sous une autre forme également intéressante qui donne l'augmentation de la quantité de combustible brûlée par heure et *par mètre carré de surface de grille;* quand on réduit la grille, elle est, en moyenne de :

21 p. 100 environ,			lorsqu'on réduit la grille d'un quart.	Que le foyer contienne ou non une voûte ou un Tenbrink et quelle que soit la longueur des tubes.
36 p. 100 avec le tirage de	25 millim.	lorsqu'on réduit la grille de moitié.		
45 p. 100 —	45 millim.			
50 p. 100 —	75 millim.			

En second lieu, il résulte de ces expériences que la puissance de production de vapeur E est diminuée par les réductions de grille à peu près dans les mêmes proportions que P.

Expériences montrant l'influence de la réduction du nombre de tubes.

On a fait quelques essais complémentaires pour se rendre compte de l'influence du nombre de tubes dans une chaudière dont tous les éléments par ailleurs restent les mêmes; ces essais ont été faits avec des tubes de 4 mètres de longueur, un foyer ordinaire et une voûte courte, aux tirages de 45 et de 75 millimètres, après avoir tamponné 5, 10 et 15 p. 100 du nombre des tubes, les tubes tamponnés étant uniformément répartis dans le faisceau tubulaire. Le tableau n° 13 montre quels ont été les résultats obtenus.

On voit, d'après ce tableau, que le combustible brûlé et l'eau vaporisée diminuent nettement au fur et à mesure que le nombre des tubes diminue, mais dans une proportion un peu moindre. L'eau vaporisée par kilogramme de combustible brûlé reste sensiblement la même pour le foyer ordinaire, et paraît augmenter un peu avec la voûte courte. Les autres éléments ne présentent pas de variations bien importantes.

Somme toute, pour un même foyer et un même tirage, la suppression d'une fraction du faisceau tubulaire ne change pas beaucoup le rendement économique de la chaudière, mais diminue sa puissance dans une proportion un peu plus faible que celle des tubes supprimés.

VI. Résumé.

En ne considérant que les trois éléments principaux: activité de la combustion P, puissance de production E et rendement économique $\frac{E}{P}$, les résultats obtenus dans les expériences peuvent se résumer ainsi qu'il suit.

Influence de la nature du foyer.

L'addition d'une voûte ou d'un Tenbrink diminue toujours P; avec des tubes de 5 mètres et au-dessous, la diminution est de 12 à 18 p. 100 pour la voûte longue, de 3 à 10 p. 100 pour la voûte courte et de 3 à 12 p. 100 pour le Tenbrink.

Elle fait varier aussi E; avec des tubes de 5 mètres ou de moins de 5 mètres, les variations sont les suivantes :

La voûte longue donne une diminution de 2 à 12 p. 100; la diminution la plus faible correspond aux tubes les plus courts avec le plus faible tirage.

La voûte courte produit pour les tubes de plus de 4 mètres une diminution qui atteint 3 et 4 p. 100 avec les tubes de 5 mètres; elle produit pour les tubes de moins de 4 mètres une augmentation qui atteint 4 p. 100 avec les tubes de 3 mètres et le plus petit tirage. Le Tenbrink produit toujours, au-dessous de 5 mètres, une augmentation qui atteint 5 p. 100 pour les tubes de 3 mètres et le plus petit tirage.

$\frac{E}{P}$ est toujours plus grand avec une voûte ou un Tenbrink qu'avec un foyer ordinaire; la voûte courte donne une amélioration de 5 à 9 p. 100; la voûte longue et le Tenbrink de 7 à 12 p. 100; pour les tubes de moins de 5 mètres, avec tirage moyen, l'amélioration est d'autant

plus grande que les tubes sont plus courts et le tirage plus énergique.

Influence de la longueur des tubes.

P croît constamment quand les tubes diminuent de longueur, mais d'autant moins vite que le tirage est plus énergique. Quand on passe des tubes de 5 mètres à ceux de 3 mètres, l'accroissement est de 11 à 19 p. 100, soit, en moyenne, de 15 p. 100.

E commence par augmenter d'une façon continue quand on raccourcit les tubes; il atteint son maximum à une longueur comprise entre 4 mètres et $4^{m},50$; il diminue ensuite régulièrement. Quand on passe des tubes de 5 mètres à ceux de 3 mètres, on arrive à une diminution finale de 6 à 8 p. 100 pour le foyer ordinaire, tandis que pour la voûte longue, la voûte courte et le Tenbrink, il y a sensiblement égalité pour les tirages faibles et moyens, et diminution de 2 à 5 p. 100 seulement pour les forts tirages.

$\frac{E}{P}$ est d'autant plus petit que les tubes sont plus courts; la diminution est d'abord assez lente jusqu'aux longueurs de 4 mètres environ; elle s'accélère beaucoup au-dessous de 4 mètres. Ainsi, quand on passe des tubes de 5 mètres à ceux de 4 mètres, on ne perd que 5 p. 100 avec des foyers munis d'une voûte en briques ou d'un Tenbrink, tandis qu'on perd ensuite 10 p. 100 quand on raccourcit les tubes de 4 mètres à 3 mètres. De 5 mètres à 3 mètres, la perte totale est de 19 p. 100 avec le foyer ordinaire, de 14 p. 100 avec la voûte longue, de 16 p. 100 avec la voûte courte et de 15 p. 100 avec le Tenbrink.

Influence du tirage.

Quand le tirage augmente, P croît régulièrement, cet accroissement est d'autant moins rapide que le tirage est

plus fort; entre 25 et 75 de tirage, l'accroissement de P par millimètre de tirage est le suivant :

1,4 p. 100 de la valeur de P à 45 millimètres quand le tirage augmente de 25 à 45,
1 — — — de 45 à 75.

L'influence du tirage sur P est sensiblement la même quel que soit le foyer et diminue un peu quand on raccourcit les tubes.

E varie comme P, mais moins vite que lui; entre 25 et 75 millimètres de tirage, l'accroissement de E par millimètre de tirage est le suivant :

1,3 p. 100 de la valeur de E à 45 millimètres quand le tirage croît de 25 à 45,
0,8 — — — de 45 à 75.

La nature du foyer et la longueur des tubes n'ont sur lui aucune influence sensible.

Quand le tirage augmente, $\frac{E}{P}$ diminue constamment et d'autant plus vite que les tubes sont plus courts; quand on passe du tirage de 25 millimètres à celui de 75 millimètres, la variation totale de $\frac{E}{P}$ atteint :

Pour le foyer ordinaire	9,3 p. 100 de sa valeur à 45 millimètres.
Pour la voûte courte.	5,6 — —
Pour la voûte longue et le Tenbrink. . .	4,7 — —

Influence de la surface de grille et du nombre de tubes.

Quand on réduit la surface de la grille dans une certaine proportion sans rien changer par ailleurs, P et E décroissent dans une proportion sensiblement moins forte que la réduction de la grille.

Quand on diminue le nombre de tubes sans rien changer par ailleurs à la chaudière, P et E diminuent dans une proportion un peu moins forte, mais $\frac{E}{P}$ reste sensiblement le même.

VII. Conclusions.

La puissance étant généralement la qualité maîtresse à donner aux locomotives pour assurer un service économique, on doit s'attacher à réaliser toutes les conditions qui concourent au développement de cette puissance sans présenter, d'autre part, des inconvénients trop sérieux aux autres points de vue. Dès lors, les conclusions à tirer de tout ce qui précède paraissent être les suivantes en ce qui concerne les locomotives à foyers et à tubes analogues à ceux de la chaudière d'expériences.

Foyer.

Pour le foyer, il est avantageux d'avoir une grande surface de grille; il convient d'adopter la voûte en briques courte ou le Tenbrink qui, pour les tubes de 4 mètres à $4^m,50$, longueurs les plus avantageuses, donnent une puissance au moins égale et presque toujours supérieure à celle du foyer ordinaire et un rendement très sensiblement meilleur. Le Tenbrink paraît être un peu plus avantageux que la voûte en briques, mais il est de nature à présenter, surtout avec des foyers très grands, des inconvénients d'entretien qui compensent ses avantages économiques.

Longueur des tubes.

Pour les tubes, on doit préférer les longueurs voisines de celles de 4 mètres à $4^m,50$, qui assurent le maximum de puissance tout en donnant un bon rendement économique.

Si l'excès de poids est nécessaire pour augmenter l'adhérence ou n'est pas à craindre au point de vue de l'action de la machine sur la voie, il faut plutôt se rapprocher de $4^m,50$ que de 4 mètres, afin d'augmenter le

rendement économique; mais lors même que l'on recherche l'adhérence, on ne doit pas dépasser sensiblement $4^m,50$, parce que l'on s'expose à perdre plus en puissance qu'on ne gagne en rendement; il est préférable d'augmenter le poids par tout autre moyen.

Si, au contraire, on veut alléger la machine, il convient de se rapprocher de 4 mètres. Au-dessous de 4 mètres, on s'éloigne de plus en plus de la puissance maxima, et l'on perd de plus en plus en rendement; il ne faut donc y descendre que si le poids doit être réduit à tout prix. En tout cas, si l'on veut alléger le plus possible les machines à tubes de 5 mètres, en raccourcissant leurs tubes et en s'imposant la condition de ne pas diminuer leur puissance, sauf à sacrifier leur rendement, on ne doit pas descendre jusqu'à 3 mètres, car alors on perdrait en puissance en même temps qu'on diminuerait le rendement de 15 p. 100.

Tirage.

L'influence du tirage sur la puissance est si considérable qu'il convient, malgré son action sur le rendement, de prendre toutes les dispositions permettant d'en augmenter et d'en faire varier l'intensité dans les plus larges limites possibles, c'est le meilleur moyen de donner à la puissance de la locomotive une grande élasticité et de pouvoir régler cette puissance sur le travail à faire à chaque instant. Il convient cependant de ne pas dépasser une certaine limite de contre-pression à l'échappement.

Nombre de tubes.

On doit chercher à augmenter le plus possible le nombre des tubes, eu égard à la surface de plaque tubulaire dont on dispose; on ne peut qu'y gagner en puissance et aussi en rendement.

2e PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LES CHAUDIÈRES, A TUBES LISSES, DES LOCOMOTIVES CONSTRUITES EN 1889, A LA SUITE DES EXPÉRIENCES RELATÉES DANS LA 1re PARTIE.

La première application des résultats exposés dans la première partie de la présente note fut faite aux six locomotives compound que la Cie P.-L.-M. fit construire en 1888, et dont deux figurèrent à l'Exposition universelle de 1889. Ces locomotives sont de trois types différents :

Type à grande vitesse,	nos	C-1	et C-2,
Type à marchandises,	nos	3201	et 3202,
Type de montagne,	nos	4301	et 4302.

Toutes les chaudières sont timbrées à 15 kilogrammes et sont caractérisées par des longueurs de tubes notablement inférieures à celle de 5 mètres, usitée jusque-là au P.-L.-M. Leurs principaux éléments sont résumés dans la page de gauche du tableau n° 14. On y remarque que, dans un intérêt d'étude, chaque chaudière a reçu des tubes d'un diamètre différent des autres. On y remarque également qu'au lieu d'être en laiton, comme sur la chaudière d'essai, tous les tubes des nouvelles locomotives sont en fer. Cela tient à ce que, depuis le commencement des expériences décrites dans la première partie de cette note, la Cie P.-L.-M. avait adopté d'une manière générale l'emploi des tubes en fer dans les chaudières de ses locomotives et cela pour les motifs suivants :

1° Moindre fatigue pour la chaudière qu'avec les tubes en laiton qui se dilatent plus que le corps de la chaudière;

2° Moindres chances de détresses par suite de tubes crevés.

Par suite des nécessités du service, les chaudières des six locomotives ne purent être soumises aux expériences méthodiques de la chaudière d'essai, qu'après un certain temps de service variable d'une chaudière à l'autre, et correspondant aux parcours indiqués sur le tableau n° 14. Il en résulta qu'au moment des expériences, les tubes de ces chaudières différaient de ceux de la chaudière d'essai non seulement par la nature de leur métal, mais encore par l'état d'entartrage de leur surface baignée par l'eau. Ces deux circonstances ont contribué à rendre plus difficile la transmission de la chaleur à travers les tubes des nouvelles chaudières, sans qu'il ait été possible de déterminer ce qui était dû à la nature du métal et ce qui l'était à l'entartrage.

De l'une à l'autre des nouvelles chaudières similaires au contraire, l'état des tubes différait peu, ce qui a permis d'étudier efficacement l'influence du diamètre des tubes.

I. Résultats des expériences.

Les expériences sur les chaudières des six nouvelles locomotives furent faites dans le même local que celles de la première partie, avec les mêmes appareils et par les mêmes méthodes, en mettant simplement les chaudières à essayer à la place de la chaudière d'expériences.

On fit encore les essais aux tirages de 25, 45 et 75 millimètres, mais en raison de l'avantage que les premières expériences avaient fait ressortir en faveur des grands tirages, on poussa le tirage jusqu'à 120 millimètres.

La page de droite du tableau n° 14 donne les principaux résultats de ces nouvelles expériences.

II. Comparaison, à égalité de puissance, des machines de mêmes types, munies de tubes de diamètres différents.

La puissance étant la qualité principale d'une chaudière de locomotive, nous avons comparé les chaudières deux à deux à *égalité de puissance;* pour cela, nous avons établi le tableau n° 15 qui n'est autre que le tableau n° 14 mis sous une autre forme. Les chiffres sont ceux qui correspondent aux puissances de 4.000, 5.000, 6.000, 7.000 et 8.000 kilogrammes d'eau vaporisée par heure; ils sont établis au moyen de courbes par interpolation d'après ceux du tableau n° 14.

On peut conclure ce qui suit des résultats du tableau n° 15.

Si l'on passe des résultats de la chaudière C-2 (tubes de 45) à ceux de la chaudière C-1 (tubes de 50), on remarque ce qui suit :

Le tirage diminue de 7 à 10 p. 100;
Le rendement économique ne varie pas sensiblement.

On peut en conclure que, dans les conditions dont il s'agit, les tubes de 50 sont plus avantageux que ceux de 45.

Si l'on passe des résultats de la chaudière 3202 (tubes de 40) à ceux de la chaudière 3201 (tubes de 45), on remarque ce qui suit :

Le tirage diminue de . . . . . 12 à 15 pour 100.
Le rendement économique ne diminue que de 1 à 3 —

On peut encore en conclure que, dans les conditions dont il s'agit, les tubes de 45 doivent être préférés à ceux de 40.

Si l'on passe des résultats de la chaudière 4301 (tubes

de 50) à ceux de la chaudière 4302 (tubes de 55), on remarque ce qui suit :

Le tirage diminue de . . . . . 10 à 24 pour 100.
Le rendement économique diminue de. 0 à 5 —

On peut encore en conclure que les tubes de 55 sont plus avantageux que ceux de 50, bien que la perte de rendement économique commence déjà à se faire sentir.

On voit donc qu'il résulte du tableau n° 15 qu'il n'y a pas avantage à diminuer le diamètre des tubes au-dessous d'une certaine limite qui est de 50 à 55 millimètres.

III. Comparaison des résultats obtenus dans ces expériences et de ceux qui résultent de celles de la première partie.

Ces expériences peuvent servir, par la même occasion, à comparer les résultats obtenus avec une machine ayant effectué un certain parcours et ceux qui ont été obtenus, dans la première partie, avec la chaudière d'expériences.

En effet, on remarque que la chaudière C-1 (tubes de 50) a à peu près les mêmes dimensions d'éléments que ceux de la chaudière d'expériences ; le tableau ci-dessous rappelle quels sont les éléments respectifs de ces deux chaudières :

		CHAUDIÈRE d'expériences	CHAUDIÈRE de la machine C-1
Timbre		10 kg	15 kg
Grille		2m2,24	2m2,34
Voûte en briques		1m2,212	1m2,212
Tubes.	Diamètre extérieur	50mm	50mm
	Nature des tubes	Lisses en laiton	Lisses en fer
	Nombre	185	185
	Longueur entre plaques tubulaires	4m,000	4m,035
	Section de passage des gaz au milieu	0m2,3074	0m2,3021
	Section de passage des gaz aux viroles du foyer	0m2,1833	0m2,1957
Surface de chauffe	Foyer	10m2,12	11m2,62
	Tubes	106m2,94	107m2,86
	Totale	117m2,06	119m2,18

Comme on le voit, les deux chaudières diffèrent peu ; cependant elles ont entre elles les différences suivantes :

La chaudière C-1 est timbrée à 15 kilogrammes et la chaudière d'expériences à 10 kilogrammes ; la grille et le foyer sont un peu plus grands dans la chaudière C-1 ; les tubes sont en fer au lieu d'être en laiton ; la section de passage des gaz aux viroles de boîte à feu est un peu plus grande ; enfin, dans la chaudière C-1 la rentrée d'air nécessaire pour achever la combustion des gaz avant leur entrée dans les tubes s'effectue par la porte de chargement, au lieu de s'effectuer par un clapet spécial comme dans la chaudière d'expériences.

Le tableau n° 16 permet de comparer les résultats de ces deux chaudières. Si l'on passe de la chaudière d'expériences à la chaudière C-1, on remarque ce qui suit :

La consommation de combustible par heure diminue de 1 à 4 p. 100.

La quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible diminue de 4 à 6 p. 100, ce qui tient à ce que le dépôt de tartre était plus épais avec les chaudières ayant effectué un certain parcours qu'avec la chaudière d'expériences, qui avait été lavée souvent avec un soin tout particulier pour que les expériences fussent toujours comparables.

La quantité d'eau vaporisée par heure diminue de 8 p. 100, ce qui tient aux diminutions de combustible brûlé par heure et d'eau vaporisée par kilogramme de combustible.

En résumé, il faut tirer de ce qui précède les conclusions suivantes :

1° Les expériences de la première partie doivent être considérées comme donnant des résultats maxima qu'il est impossible d'atteindre tout à fait dans la pratique ;

2° Quand on passe de la chaudière d'expériences à des chaudières timbrées à 15 kilogrammes au lieu de 10,

munies de tubes en fer légèrement entartrés au lieu de tubes en cuivre propres, il faut s'attendre aux pertes suivantes :

Une perte de 1 à 4 p. 100 sur la consommation de combustible par heure ;

Une perte de 4 à 6 p. 100 sur la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible ;

Enfin, une perte de 8 p. 100 sur la quantité d'eau vaporisée par heure tenant à la réunion des deux pertes précédentes.

3e PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR DES CHAUDIÈRES MUNIES DE TUBES A AILETTES.

I. Principe des tubes à ailettes.

Les tubes à ailettes, système Serve (Pl. V, *fig.* 3 et 4), diffèrent des tubes lisses ordinaires, en ce qu'ils sont garnis à l'intérieur d'un certain nombre d'ailettes longitudinales destinées à augmenter la surface de chauffe en contact avec les gaz.

Ces ailettes sont planes.

Si l'on considère la transmission de la chaleur des gaz chauds à l'eau, dans un tube à fumée de locomotive, on sait que la chaleur se transmet beaucoup plus difficilement des gaz au métal du tube que du métal à l'eau. Il est donc tout naturel d'augmenter le plus possible la surface de chauffe en contact avec les gaz.

A priori, on pouvait craindre l'obstruction des tubes par suite du dépôt d'escarbilles entre les ailettes ; mais,

comme on le verra plus loin, on est venu à bout facilement de cette difficulté dans la pratique.

On pouvait donc espérer que les tubes Serve pourraient donner la même vaporisation que les tubes lisses, et cela avec une longueur sensiblement moindre, et permettre ou de réduire le poids des locomotives sans changer leur puissance ou d'augmenter leur puissance sans changer leur poids.

Les tubes à ailettes furent fabriqués d'abord en laiton ; plus tard, on trouva un procédé de fabrication permettant de les fabriquer avec du fer ou acier doux.

II. Expériences comparatives sur des locomotives en service, l'une munie de tubes à ailettes et les autres de tubes lisses.

Pour voir tout d'abord comment les tubes à ailettes se comportaient dans la pratique, on a muni la machine à marchandises 2239 de tubes à ailettes en laiton de 50 millimètres de diamètre extérieur. Pendant une année, on a comparé la consommation de combustible par tonne kilométrique de cette machine avec celle de la machine 2026 munie de tubes lisses et neufs en fer et avec celle de la machine 2415 munie de tubes lisses et neufs en laiton. Ces trois machines étaient de type semblable et ont fait des services semblables ; leurs tubes avaient la même longueur de $4^{m},252$ entre plaques tubulaires et le même diamètre extérieur de 50 millimètres. On a eu soin, d'ailleurs, de faire permuter les trois mécaniciens pour les faire passer à tour de rôle sur chacune des trois machines, afin d'éviter les erreurs provenant de la différence d'habileté des mécaniciens. Les résultats de la comparaison furent les suivants, basés sur les moyennes de dix mois d'observations (consommation de combustible par tonne kilométrique) :

Machine 2239 à tubes à ailettes en laiton. . . .	$0^{kg},03827$
— 2415 à tubes lisses en laiton.	0 ,04000
— 2026 à tubes lisses en fer.	0 ,04118

La machine avec tubes à ailettes a donné une consommation de combustible par tonne kilométrique, inférieure de 4,3 p. 100 en moyenne à celle de la machine avec tubes lisses en laiton et inférieure de 7,3 p. 100 en moyenne à celle de la machine avec tubes en fer. Il a fallu serrer l'échappement avec les tubes à ailettes, ces tubes demandant un tirage sensiblement plus énergique que les tubes lisses.

Dans les débuts, on éprouva des difficultés pour le ramonage des tubes à ailettes; les brosses que l'on employait à cet effet se détérioraient rapidement. Mais on a alors remplacé le ramonage à la brosse par le ramonage à la vapeur qui donna des résultats excellents. Quand un tube est par hasard obstrué par une escarbille grosse et dure, on la brise avec une tringle en fer et on reprend avec succès le ramonage à la vapeur.

On verra plus loin que les résultats de la comparaison auraient été bien meilleurs en faveur des tubes à ailettes, si les locomotives soumises aux expériences avaient eu des tubes de 3 mètres à $3^m,50$; c'est surtout pour ces machines que les tubes à ailettes donnent une grande économie de combustible quand on les substitue aux tubes lisses (*).

III. Expériences sur une chaudière d'essai munie de tubes en laiton à ailettes.

But de ces expériences.

Les expériences qui précèdent sur les tubes à ailettes étaient suffisantes pour montrer que ce système de tubes

(*) Voir note de M. Kéromnès, Ingénieur principal à la Compagnie du Nord, sur l'essai des tubes Serve. (*Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils*, séance du 21 juillet 1893.)

présentait un grand intérêt pour la construction des locomotives; mais elles ne suffisaient pas pour déterminer les meilleures dispositions à adopter avec les tubes à ailettes. M. Henry jugea qu'il était nécessaire de faire avec les tubes à ailettes des expériences aussi complètes que celles qui font l'objet de la première partie de ce mémoire; voici la description de ces expériences et l'analyse de leurs résultats.

Appareils d'expériences.

Les appareils qui ont été employés pour les expériences sur les tubes à ailettes, sont les mêmes que ceux qui ont été décrits dans la première partie de ce mémoire. Les tubes expérimentés étaient en laiton. On a fait une première série d'expériences avec 185 tubes ayant 50 millimètres de diamètre extérieur et une seconde série avec 113 tubes de 65 millimètres de diamètre extérieur (Pl. V, *fig.* 3 et 4).

Voici quels étaient les principaux éléments de la chaudière suivant qu'elle était munie de tubes de 50 ou de tubes de 65 millimètres de diverses longueurs.

	TUBES de 50 millim. de diamètre extérieur	TUBES de 65 millim. de diamètre extérieur
Nombre de tubes	185	113
Diamètre intérieur des tubes	45^{mm}	60^{mm}
Section intérieure totale des tubes. Courante T	$0^{m2},26758$	$0^{m2},30047$
Section intérieure totale des tubes. A l'intérieur des viroles de boîte à feu t	$0^{m2},18833$	$0^{m2},22190$
Surface de grille en contact avec le combustible	$2^{m2},34$	$2^{m2},34$
Surface de grille (projection sur un plan horizontal) G.	$2^{m2},24$	$2^{m2},24$
Rapports $\frac{T}{G}$	0,119	0,134
Rapports $\frac{t}{G}$	0,084	0,099
Surface de chauffe de foyer avec voûte courte.	$10^{m2},12$	$10^{m2},09$
— — avec bouilleur Tenbrink.	$14^{m2},19$	$14^{m2},16$

Longueur des tubes.	4m,00	3m,50	3m,00	2m,50	2m,00
Surface intérieure des tubes	de 50 millim.	»	165m2,24	141m2,19	117m2,14	93m2,09
	de 65 millim.	163m2,54	142 ,72	121 ,90	101 ,08	»

Programme des expériences.

Comme on vient de le voir, il y a eu cinq longueurs de tubes essayées; ces longueurs sont plus courtes que celles des tubes lisses, à cause de l'augmentation de surface de chauffe due aux ailettes.

Pour les tubes de 50 millim. on a fait des expériences à 3m,50, 3m,00, 2m,50, 2m,00.
Pour les tubes de 65 millim. — 4m,00, 3m,50, 3m,00, 2m,50.

Enfin, toutes les expériences ont été faites avec foyer muni d'une voûte courte de 1m,212 et avec un bouilleur Tenbrink, seules dispositions jugées intéressantes à la suite des essais faits avec les tubes lisses.

Quant au tirage, on a fait des expériences pour chacune des valeurs suivantes :

25, 45, 75, 100, 120 millimètres.

Cela posé, on peut résumer ainsi qu'il suit le programme des expériences qui devaient être faites :

Tubes de 4 mètres. .	Voûte . . . . / Tenbrink . .	Tirages de 25, 45, 75, 100 et 120 millimètres.
Tubes de 3m,50. . . .	Voûte . . . . / Tenbrink . .	Idem.
Tubes de 3 mètres. .	Voûte . . . . / Tenbrink . .	Idem.
Tubes de 2m,50. . . .	Voûte . . . . / Tenbrink . .	Idem.
Tubes de 2 mètres. .	Voûte . . . . / Tenbrink . .	Idem.

Comme on le voit, cela constituait, pour chaque diamètre de tubes, une série de 50 expériences, soit 100 en tout; certaines de ces expériences ont été jugées inutiles

et n'ont pas été faites, comme on le verra dans les tableaux.

Marche d'une expérience.

La marche d'une expérience a été absolument la même qu'avec tubes lisses, c'est pourquoi nous n'en donnerons pas la description. De même que pour les expériences sur les tubes lisses, le moment précis du chargement de combustible était fixé par la sonnerie du thermomètre enregistreur, comme il a été dit précédemment. On a dû cependant rendre cet appareil enregistreur des températures un peu plus sensible qu'avec les tubes lisses, de telle façon que la sonnerie cesse *immédiatement* et sans aucun retard, après le passage de la température par le maximum; cette légère modification, inutile avec les tubes lisses, devenait nécessaire avec les tubes à ailettes, parce que, avec ces tubes, la température dans la boîte à fumée baisse plus lentement qu'avec les tubes lisses, ce qui donnait lieu à un certain retard dans le moment du rechargement du combustible; en rendant l'appareil plus sensible, cet inconvénient a été supprimé.

Résultats obtenus.

Comme pour les tubes lisses, on a représenté par des courbes les résultats qui ont été obtenus pour les éléments suivants :

Combustible brûlé par heure, ou activité de la combustion	(Pl. X, *fig.* 1 et 2, et Pl. XII, *fig.* 1 et 2).
Eau vaporisée par heure, ou puissance. .	(Pl. X, *fig.* 3 et 4, et Pl. XII, *fig.* 3 et 4).
Eau vaporisée par kilogr. de combustible brut, ou rendement économique	(Pl. XI, *fig.* 1 et 2, et Pl. XIII, *fig.* 1 et 2).
Température dans la boîte à fumée. . . .	(Pl. XI, *fig.* 3 et 4, et Pl. XIII, *fig.* 3 et 4).

De même que, pour les tubes lisses, on a représenté les points qui figurent exactement les divers résultats

des expériences, puis on a tracé des courbes moyennes.

Les chiffres des tableaux 17 à 28 ont été calculés comme ceux des tableaux 1 à 12 de la première partie.

Ces courbes et ces tableaux donnent lieu aux observations suivantes :

Activité de la combustion P. — Les courbes précitées et le tableau n° 17 montrent comment varie l'activité de la combustion, toutes choses égales d'ailleurs, suivant la nature du foyer, la longueur des tubes, leur diamètre et le tirage.

1° Les valeurs de P sont à peu près les mêmes avec la voûte en briques et le Tenbrink. Cependant avec les tubes de 50 millimètres, le Tenbrink a donné une consommation de combustible un peu plus forte que la voûte en briques, tandis que le résultat inverse a été obtenu avec les tubes de 65 millimètres. Les différences sont d'ailleurs les plus accentuées avec les tubes courts.

2° P croît à mesure que la longueur des tubes diminue ; l'augmentation de P est moins grande avec les tubes de 65 millimètres qu'avec ceux de 50 millimètres.

L'augmentation de P est de 15 à 20 p. 100 pour les tubes de 50 millimètres quand on passe de 3^m,50 à 2 mètres, quel que soit le tirage ; avec les tubes de 65 millimètres, elle n'est guère que de 7 p. 100 au tirage de 25 millimètres et atteint 11 à 14 p. 100 au tirage de 120 millimètres, lorsqu'on passe des tubes de 4 mètres aux tubes de 2^m,50.

3° P croît dans de fortes proportions avec le tirage ; au tirage de 100 millimètres, sa valeur est environ le double de celle qui correspond au tirage de 25 millimètres.

4° La substitution des tubes de 65 millimètres aux tubes de 50 millimètres augmente l'activité de la combustion de 19 à 21 p. 100 avec les tubes de 2^m,50, et de 25

à 31 p. 100 avec les tubes de 3^m,50, le foyer étant muni de la voûte.

Avec le Tenbrink, ces différences sont moins importantes.

Puissance E. — Les courbes précitées et le tableau n° 18 montrent comment varie la puissance, toutes choses égales d'ailleurs :

1° Avec les tubes de 50 millimètres, le Tenbrink donne plus de puissance que la voûte ; sa supériorité, peu marquée au tirage de 25 millimètres, est d'environ 7 p. 100 au tirage de 120 millimètres. Avec les tubes de 65 millimètres, la voûte aurait un léger avantage sur le Tenbrink au tirage de 25 millimètres. Cette supériorité de la voûte sur le Tenbrink diminue au fur et à mesure que le tirage augmente et disparaît vers le tirage de 75 millimètres, pour laisser l'avantage au Tenbrink dans les tirages plus élevés.

2° A mesure qu'on diminue la longueur des tubes, la puissance augmente d'une façon continue ; elle atteint un maximum qui paraît être situé entre 2^m,50 et 2 mètres ou un peu au-dessous pour les tubes de 50 millimètres de diamètre, et aux environs de 3 mètres pour les tubes de 65 millimètres ; enfin, au-dessous de ces longueurs de tubes, elle paraît diminuer à mesure qu'on les diminue de longueur.

L'explication de cette observation est la même que pour les tubes lisses.

L'influence de la longueur des tubes est très marquée, quel que soit le tirage, avec les tubes de 50 millimètres ; elle l'est beaucoup moins avec les tubes de 65 millimètres.

3° Le tirage agit sur la puissance de la même manière, mais dans une moins forte mesure, que sur l'activité de la combustion ; lorsqu'on passe du tirage de 25 millimètres au tirage de 100 millimètres, la valeur de E est

souvent doublée ou tout au moins augmentée de 85 à 100 p. 100, suivant le cas.

4° La substitution des tubes de 65 millimètres aux tubes de 50 millimètres de diamètre donne une augmentation assez importante de la puissance, mais d'autant moins grande que le tirage est plus élevé.

Rendement économique $\frac{E}{P}$. — Les courbes précitées et le tableau n° 19 montrent comment varie le rendement économique de la chaudière :

1° Le Tenbrink donne un rendement supérieur à celui que donne la voûte courte; cette supériorité, peu marquée avec de longs tubes et de faibles tirages, s'accentue avec des tubes plus courts et des tirages plus énergiques, surtout avec des tubes de 65 millimètres; avec le tirage de 120 millimètres et avec les tubes de $2^m,50$, le Tenbrink atteint sa plus grande supériorité et donne alors 7 p. 100 d'économie par rapport à la voûte, avec les tubes de 65 millimètres, et 0,6 p. 100 avec les tubes de 50 millimètres.

2° $\frac{E}{P}$ décroît constamment, quand on raccourcit les tubes, et d'autant plus vite qu'ils sont plus courts et que le tirage est plus énergique.

Avec les tubes de 50 millimètres, quand on passe de la longueur de $3^m,50$ à celle de 2 mètres, le rendement diminue de 6 à 8 p. 100, suivant le tirage; quand on passe de la longueur de $3^m,50$ à la longueur de $2^m,50$, le rendement ne diminue que de 3 à 5 p. 100, suivant le tirage.

Avec les tubes de 65 millimètres, la chute de rendement est beaucoup plus rapide quand on raccourcit les tubes au delà d'une certaine limite, surtout avec la voûte ; ainsi lorsqu'avec la voûte on passe de la longueur de 4 mètres à celle de 3 mètres, le rendement

diminue seulement de 3 à 4,5 p. 100, tandis que si l'on passe de 4 mètres à $2^m,50$, le rendement diminue de 10 à 14 p. 100, suivant le tirage.

3° Le rendement économique $\frac{E}{P}$ diminue constamment quand le tirage augmente, et d'autant plus que les tubes sont plus courts; cette réduction du rendement, quand le tirage croît, est toujours beaucoup plus marquée avec les tubes de 65 millimètres qu'avec ceux de 50 millimètres.

Avec les tubes de 50 millimètres, quand on passe du tirage de 25 à celui de 120 millimètres, le rendement est réduit de 2 p. 100 quand la longueur des tubes est de $3^m,50$ et de 4 p. 100 quand elle n'est que de 2 mètres.

Avec les tubes de 65 millimètres, lorsqu'on passe du tirage de 25 à celui de 120 millimètres, le rendement est réduit de 6 p. 100 pour le Tenbrink et de 8 p. 100 pour la voûte, lorsque la longueur des tubes est de 4 mètres ; il est réduit de 10 p. 100 pour le Tenbrink et de 13 p. 100 pour la voûte, lorsque la longueur des tubes est de $2^m,50$.

Escarbilles produites. — Le tableau n° 20 indique, pour chaque expérience, la quantité d'escarbilles produites par 1.000 kilogrammes de combustible brut brûlé :

1° La voûte et le bouilleur Tenbrink ne paraissent pas donner de différence au point de vue de la quantité d'escarbilles produites;

2° Cette quantité ne paraît pas dépendre de la longueur des tubes ;

3° Le tirage, au contraire, influe beaucoup sur la quantité d'escarbilles produites.

Degré d'imperfection de la combustion. — Les valeurs du degré d'imperfection de la combustion ou $\frac{100\,CO}{CO + CO^2}$

sont données par le tableau n° 21. Voici ce qu'on peut conclure de ce tableau :

1° Avec les tubes de 50 millimètres, l'effet de la voûte ou du Tenbrink paraît être le même au point de vue de la combustion; avec les tubes de 65 millimètres, le Tenbrink a une légère supériorité sur la voûte;

2° L'influence de la longueur des tubes n'est pas appréciable ;

3° La valeur du tirage n'influe pas nettement sur ce rapport ;

4° Ce rapport est, à égalité de tirage, à peu près le même que pour les tubes lisses, sauf pour le cas de la voûte avec tubes de 65 millimètres, dans lequel il atteint des valeurs un peu supérieures.

Volume d'air dépensé. — Le tableau n° 22 donne en mètres cubes le volume d'air qui a été employé dans chaque cas pour la combustion de 1 kilogramme de combustible brut; ce volume a varié fort peu quand on a fait varier la longueur des tubes ou le tirage. Il a été le même avec la voûte en briques et le Tenbrink; il a été un peu moindre pour les tubes de 65 que pour les tubes de 50.

Ce volume est peu différent de celui de $8^{m3},514$, que nous avons trouvé ci-dessus comme correspondant à la combustion théorique; il lui est un peu supérieur pour les tubes de 50 millimètres et un peu inférieur pour les tubes de 65 millimètres.

Température des gaz dans la boîte à fumée. — Les courbes précitées et le tableau n° 23 montrent comment varie la température des gaz dans la boîte à fumée; l'examen de ce tableau conduit aux remarques suivantes :

1° L'emploi du Tenbrink donne une température un peu plus faible que la voûte en briques.

2° La température augmente constamment quand on

raccourcit les tubes et cette augmentation est d'autant plus marquée que le tirage est plus élevé ; avec les tubes de 50 millimètres de diamètre, quand on passe de la longueur de $3^{m},50$ à celle de 2 mètres, elle augmente de 50 à 70 p. 100, suivant le tirage; avec les tubes de 65 millimètres de diamètre, quand on passe de la longueur de 4 mètres à celle de $2^{m},50$, elle augmente de 38 p. 100 pour le Tenbrink et de 44 à 48 p. 100 pour la voûte.

3° La température augmente toujours avec le tirage. Quand on passe du tirage de 25 au tirage de 120 millimètres, elle augmente de 13 à 27 p. 100 pour les tubes de 50 millimètres, de 22 à 25 p. 100 pour les tubes de 65 millimètres.

Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion.— Le tableau n° 24 montre comment varie le coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion, ou $100\,\frac{C_1}{C}$. Dans ce tableau, nous avons donné les moyennes des chiffres bruts pour chaque tirage, comme dans la première partie ; en outre, comme il y a cinq valeurs de tirage au lieu de trois, il a été possible de tracer des courbes permettant de rectifier ces moyennes ; ce sont ces *moyennes rectifiées* qui serviront par la suite au lieu des moyennes brutes. Voici ce qui résulte de ce tableau :

1° $\frac{C_1}{C}$ est sensiblement le même avec la voûte en briques qu'avec le Tenbrink ;

2° La longueur des tubes ne paraît pas l'influencer sensiblement, motif pour lequel on a établi des moyennes ;

3° $\frac{C_1}{C}$ diminue légèrement à mesure que le tirage augmente.

Coefficient économique de la chaudière considérée

comme appareil d'échange de chaleur. — Le tableau n° 25 indique les valeurs trouvées pour le coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur, ou $100\,\frac{C_2}{C_1}$.

Ce tableau montre que les variations de ce rapport ont beaucoup d'analogie avec celles du rapport $\frac{E}{P}$ dont il a été question ci-dessus.

Voici ce qui résulte de ce tableau :

1° L'emploi du bouilleur Tenbrink donne pour ce rapport une valeur légèrement supérieure à celle que donne la voûte; la supériorité est plus grande avec les tubes de 65 millimètres qu'avec ceux de 50 millimètres;

2° $\frac{C_2}{C_1}$ décroît rapidement quand on raccourcit les tubes; la décroissance est sensiblement la même, que l'on emploie la voûte ou le Tenbrink;

3° Toute augmentation du tirage se traduit par une diminution de $\frac{C_2}{C_1}$; la diminution est d'autant plus sensible que les tubes sont plus courts, et est un peu moins forte avec le bouilleur Tenbrink qu'avec la voûte.

Proportion de chaleur entraînée par les gaz de la combustion. — Le tableau n° 26 donne les différentes valeurs trouvées pour la proportion de chaleur entraînée par les gaz de la combustion ou $100\,\frac{C_3}{C_1}$.

1° Ce rapport est un peu plus grand avec la voûte qu'avec le Tenbrink ;

2° Il augmente constamment quand on raccourcit les tubes; avec les tubes de 50 millimètres, la voûte courte et le tirage de 75, ce rapport augmente de 58 p. 100 quand on passe des tubes de $3^m,50$ aux tubes de 2 mètres ; avec les tubes de 65 millimètres, il augmente de

38 p. 100 quand on passe des tubes de 4 mètres aux tubes de $2^m,50$;

3° Il augmente, avec le tirage, de 30 à 40 p. 100 quand on passe du tirage de 25 millimètres à celui de 120 millimètres.

Proportion de chaleur perdue par conductibilité et rayonnement. — Le tableau n° 27 donne les valeurs relatives de la chaleur perdue par conductibilité et rayonnement, ou $100\,\frac{C_4}{C_1}$; on en conclut ce qui suit :

1° Ce rapport est un peu plus grand avec la voûte en briques qu'avec le Tenbrink;

2° Il varie peu, avec les tubes de 50 millimètres, quand on passe de $3^m,50$ à 2 mètres de longueur; mais avec les tubes de 65 millimètres, il augmente sensiblement quand on passe des tubes de 4 mètres à ceux de $2^m,50$;

3° Ce rapport paraît augmenter avec le tirage pour les tubes de 65 millimètres.

Répartition de la chaleur totale. — Le tableau n° 28 résume les tableaux précédents et montre comment se répartit la chaleur totale que produirait la combustion complète du combustible employé, représentée par 1.000, entre les quatre éléments suivants :

$C - C_1$ ou chaleur non dégagée à raison de l'oxyde de carbone qui reste dans les gaz de la combustion et des escarbilles produites;
C_2 ou chaleur emmagasinée dans la vapeur produite;
C_3 ou chaleur entraînée par les gaz de la combustion;
C_4 ou chaleur perdue par rayonnement et conductibilité.

IV. Comparaison des tubes lisses et des tubes à ailettes.

Après avoir décrit les expériences sur les tubes à ailettes, il est nécessaire d'en comparer les résultats avec

ceux qui concernent les tubes lisses. Cette comparaison peut être faite à bien des points de vue; nous l'avons faite aux trois points de vue suivants :

1° Comparaison à égalité de tirage, les tubes ayant la longueur qui donne, pour chaque espèce, le maximum de puissance;

2° Comparaison à égalité de surface intérieure de chauffe et de puissance;

3° Comparaison des tubes lisses et des tubes à ailettes de faible longueur, à égalité de longueur et de diamètre des tubes et à égalité de tirage.

Voici les résultats obtenus :

Comparaison, à égalité de tirage, des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes, les tubes ayant la longueur qui donne, pour chaque espèce, le maximum de puissance.

On a pris, pour chaque nature de tubes, la longueur la plus avantageuse au point de vue de la puissance, à savoir :

4m,00	pour les tubes	lisses de	50	millimètres,
2m,50	—	à ailettes de . . .	50	—
3m,00	—	à ailettes de . . .	65	—

Puis, on a constitué le tableau n° 29 en juxtaposant les résultats de ces expériences choisies en comparant entre elles les expériences faites avec le même tirage.

De l'examen de ce tableau, on tire les conclusions suivantes :

L'activité de la combustion P est réduite de 9 à 10 p. 100 avec la voûte et de 7 à 10 p. 100 avec le Tenbrink quand on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de même diamètre; elle augmente, au contraire, de 5 à 6 p. 100 avec la voûte et de 1 à 2 p. 100 avec le Tenbrink quond on remplace les tubes lisses de

50 millimètres par des tubes à ailettes de 65 millimètres.

La puissance E est réduite de 7 p. 100 au tirage de 25 millimètres et de 5 p. 100 au tirage de 75 millimètres quand, avec la voûte en briques, on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de même diamètre. Si ces tubes lisses sont remplacés par des tubes à ailettes de 65 millimètres de diamètre, la puissance de production est augmentée de 5 p. 100 au tirage de 25 millimètres et de 3 p. 100 au tirage de 75 millimètres.

Dans le cas d'un foyer muni du bouilleur Tenbrink la puissance est réduite de 3 p. 100 au tirage de 75 millimètres lorsqu'on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de même diamètre; lorsque les tubes lisses de 50 millimètres sont remplacés par des tubes à ailettes de 65 millimètres de diamètre, la puissance de production est augmentée de 2 p. 100.

Le rendement économique $\frac{E}{P}$ est augmenté de 1 p. 100 au tirage de 25 millimètres et de 4 à 5 p. 100 au tirage de 75 millimètres quand on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de même diamètre, avec la voûte comme avec le Tenbrink.

Quand on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de 65 millimètres, on obtient avec la voûte un rendement plus faible de 2 p. 100, tandis que le rendement paraît être le même quand on emploie le Tenbrink.

Escarbilles produites. — La proportion d'escarbilles est sensiblement doublée, au tirage de 25 millimètres, quand on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de 50 ou de 65 millimètres tant avec la voûte qu'avec le Tenbrink; au fur et à mesure que l'on augmente le tirage, le rapport des proportions d'escarbilles décroît rapidement.

Le degré d'imperfection de la combustion et *le volume d'air dépensé par kilogramme de combustible* ne sont pas sensiblement influencés, pour un même foyer, par la forme et la dimension des tubes ; ils ne dépendent que de la conduite du feu.

La température des gaz dans la boîte à fumée est plus faible de 13 à 18 p. 100 avec les tubes à ailettes de 50 millimètres qu'avec les tubes lisses de même diamètre, que l'on emploie la voûte ou le Tenbrink ; cette différence est d'autant plus accentuée que le tirage est plus énergique.

Avec la voûte, les tubes à ailettes de 65 millimètres de diamètre donnent une température qui est sensiblement la même que celle qui correspond aux tubes lisses de 50 millimètres ; dans le cas d'un foyer muni du bouilleur Tenbrink, la température des gaz dans la boîte à fumée, d'abord sensiblement la même que celle qui est donnée par les tubes lisses pour le tirage de 25 millimètres, devient plus faible de 6 p. 100 au tirage de 75 millimètres.

Le coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion est sensiblement le même avec les tubes à ailettes de 50 ou de 65 millimètres qu'avec les tubes lisses de 50 millimètres.

Le coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur est sensiblement le même, que la chaudière soit munie de tubes lisses de 50 millimètres ou de tubes à ailettes de 65 millimètres de diamètre ; mais si l'on remplace les tubes lisses de 50 millimètres par des tubes à ailettes de même diamètre, ce coefficient se trouve amélioré de 3 à 5 p. 100.

La chaleur relative entraînée par les gaz de la combustion est toujours plus faible avec les tubes à ailettes qu'avec les tubes lisses de 50 millimètres. Cette différence est de 8 à 14 p. 100 avec les tubes à ailettes de

50 millimètres et seulement de 4 à 8 p. 100 pour les tubes de 65 millimètres.

La chaleur relative perdue par conductibilité et rayonnement est sensiblement plus faible avec les tubes à ailettes de 50 millimètres qu'avec les tubes lisses de même diamètre. Avec les tubes à ailettes de 65 millimètres, elle paraît ne pas différer de celle qui résulte de l'emploi des tubes lisses de 50 millimètres.

Comparaison des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes, à égalité de surface de chauffe intérieure des tubes et de puissance.

Dans le tableau n° 30, on a juxtaposé les résultats obtenus avec les tubes lisses et les tubes à ailettes de 50 et de 65 millimètres, à égalité de surface de chauffe intérieure des tubes et de puissance avec voûte courte et tirages moyens dans les trois cas. Les chiffres relatifs aux tubes lisses ont été copiés dans les tableaux relatifs aux expériences avec tubes lisses ; quant aux chiffres relatifs aux tubes à ailettes de 50 et de 65 millimètres, ils ont été déduits des tableaux relatifs aux expériences sur tubes à ailettes, mais en procédant par interpolation au moyen de courbes tracées en conséquence.

Voici quelles sont les principales conclusions à tirer des résultats du tableau n° 30.

— En passant des tubes lisses de 50 millimètres aux tubes à ailettes de 50 millimètres, on remarque ce qui suit :

1° Les tirages augmentent de 7 p. 100 pour des longueurs de tubes qui sont de 6 mètres pour les tubes lisses et de $3^{m},394$ pour les tubes à ailettes ; cette augmentation de tirage va elle-même en augmentant à mesure que les tubes diminuent ; elle passe par un maximum et atteint 18 p. 100 pour des longueurs qui sont de $4^{m},50$ pour les

tubes lisses et $2^m,653$ pour les tubes à ailettes ; puis elle retombe à 15 p. 100 pour les longueurs de tubes de 4 mètres et $2^m,431$;

2° La quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible est la même depuis les longueurs de tubes de 6 mètres et $3^m,394$ jusqu'aux longueurs de $4^m,500$ et $2^m,653$; elle augmente de 3 p. 100 pour les longueurs au-dessous.

En résumé, à diamètre égal, et à égalité de surface de chauffe et de puissance, les tubes à ailettes donnent le même rendement économique que les tubes lisses, en exigeant un tirage un peu plus fort.

— En passant des tubes lisses de 50 millimètres aux tubes à ailettes de 65 millimètres, on remarque ce qui suit :

1° Les tirages diminuent de $100 - 73 = 27$ p. 100 pour des longueurs de tubes qui sont de 6 mètres pour les tubes lisses et de $3^m,910$ pour les tubes à ailettes ; cette diminution de tirage va en diminuant à mesure que la longueur des tubes diminue ; elle n'est plus que de $100 - 93 = 7$ p. 100 pour les longueurs de tubes de 4 mètres et de $2^m,641$;

2° Les quantités d'eau vaporisée par kilogramme de combustible diminuent de $100 - 97 = 3$ p. 100 pour les longueurs de tubes de 6 mètres et $3^m,910$; la diminution varie peu et elle atteint $100 - 95 = 5$ p. 100 pour les longueurs de tubes de 4 mètres et de $2^m,641$.

Comparons à présent les résultats relatés dans le même tableau pour les tubes à ailettes de 50 millimètres, et les tubes à ailettes de 65 millimètres en bornant la comparaison aux longueurs qui donnent la puissance de 5.365 kilogrammes ; ces longueurs sont de $2^m,431$ (tubes à ailettes de 50 millimètres) et de $2^m,641$ (tubes à ailettes de 65 millimètres). Le tirage diminue de $\frac{115 - 93}{115} = 19$ p. 100 quand on passe des tubes à

ailettes de 50 à ceux de 65 millimètres ; la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible diminue de $\frac{103 - 95}{103} = 8$ p. 100 dans les mêmes conditions. Cette infériorité des tubes de 65 millimètres sur ceux de 50 millimètres, au point de vue du rendement économique tient à ce que le filet gazeux central a de la peine à communiquer sa chaleur au métal dans les tubes de gros diamètre.

— En résumé, à égalité de surface de chauffe et de production, les tubes de 65 millimètres demandent un tirage beaucoup plus faible et donnent lieu à un rendement économique sensiblement plus faible que les tubes de 50 millimètres.

Comparaison des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes de faible longueur, à égalité de longueur et de diamètre de tubes et à égalité de tirage.

Le tableau n° 31 permet de comparer les tubes lisses en laiton de 50 millimètres et les tubes en laiton à ailettes de même diamètre, à égalité de longueur de tubes et à égalité de tirage, avec voûte courte dans les deux cas. La comparaison est faite pour les longueurs de 3 mètres et de $3^m,50$, séparément. Ce tableau est destiné à montrer ce qui se passerait si l'on remplaçait des tubes lisses par des tubes à ailettes sans rien modifier aux autres parties de la chaudière.

Ce tableau est obtenu en relevant et en juxtaposant des résultats déjà donnés dans les tableaux relatifs aux tubes lisses et aux tubes à ailettes.

Voici quelles conclusions on peut tirer de ce tableau :

Pour les tubes de 3 mètres, la substitution des tubes à ailettes aux tubes lisses augmente de 76 p. 100 la surface de chauffe, diminue de 3 à 6 p. 100 la puissance et

augmente de 19 à 21 p. 100 le rendement économique.

Pour les tubes de 3^{m},50, cette substitution augmente encore de 76 p. 100 la surface de chauffe ; elle diminue de 9 à 14 p. 100 la puissance et augmente de 13 à 16 p. 100 le rendement économique.

Si l'on faisait cette substitution avec des tubes de plus en plus longs, la perte de puissance deviendrait de plus en plus forte, et l'augmentation de rendement économique deviendrait de plus en plus faible. Cette comparaison montre le parti qu'on peut tirer du remplacement des tubes lisses par des tubes à ailettes de même diamètre pour les machines à tubes courts, sans rien modifier autrement à la chaudière.

V. Conclusions sur l'emploi des tubes à ailettes.

Il résulte de tout ce qui précède que l'emploi des tubes à ailettes permet de raccourcir considérablement les chaudières des locomotives, tout en conservant le même rendement et la même puissance.

On trouvera, dans le tableau ci-dessous, les augmentations ou les diminutions de poids des diverses parties de la chaudière et de l'eau qu'elle contient, quand on passe des tubes lisses aux tubes à ailettes :

1° Augmentations ou diminutions de poids en passant des tubes lisses de 50 millimètres et de 4 mètres de longueur aux tubes à ailettes de 50 millimètres et de 2^{m},50 de longueur :

	AUGMENTATION	DIMINUTION
Sur les tubes	»	319 kg.
Sur la tonne	»	838
Sur l'eau	»	999
Il y a donc une diminution de poids totale de.	»	2.156 kg.

2° Augmentation ou diminution de poids en passant des tubes lisses de 50 millimètres et de 4 mètres de longueur aux tubes à ailettes de 65 millimètres et de 3 mètres de longueur.

	AUGMENTATION	DIMINUTION
Sur les tubes	8 kg.	»
Sur la tonne	»	559 kg.
Sur l'eau	»	654
Il y a donc une diminution de poids totale de.	»	1.205 kg.

Il faut remarquer, d'ailleurs, que le volume d'eau dans les chaudières est sensiblement plus réduit avec les tubes de 50 millimètres qu'avec les tubes de 65 millimètres quand on donne aux uns et aux autres la longueur qui réalise le maximum de production et qu'il est sage de ne pas trop réduire ce volume d'eau pour ne pas exposer la machine à manquer de souffle.

Nous avons vu, dans la deuxième partie, que les chiffres donnant les résultats obtenus avec la chaudière d'expériences devaient être considérés comme des maxima, et qu'il fallait s'attendre à une diminution de ces chiffres lorsqu'on passait à une chaudière munie de tubes lisses en fer, après un certain temps de service.

Il doit en être évidemment de même pour les tubes à ailettes, et les machines munies de tubes à ailettes en acier ne donnent certainement en service, après un certain parcours, que des résultats inférieurs à ceux relevés sur la chaudière d'expériences. La C^{ie} P.-L.-M., à ce jour, a en service un certain nombre de locomotives munies de tubes en acier à ailettes de 65 millimètres de diamètre, mais n'a pas encore déterminé exactement l'écart qui existe entre les résultats types constatés à la chaudière d'expériences avec les tubes en laiton qui existaient seuls à ce moment, et ceux sur lesquels on

peut compter en service avec les tubes en acier que l'on a depuis réussi à fabriquer couramment.

APPLICATIONS DIVERSES.

A la suite des expériences qui viennent d'être décrites, la Cie P.-L.-M. a adopté, pour toutes les constructions ou transformations de locomotives qu'elle a entreprises depuis trois ans, les tubes en fer à ailettes, avec voûte en briques dans le foyer.

Dans quelques machines transformées, elle a mis des tubes de 50 millimètres de diamètre extérieur et de $2^m,50$ de longueur, afin de ne pas changer les plaques tubulaires qui étaient percées pour ce diamètre. Mais pour ces machines, dont le corps cylindrique avait le même diamètre que celui de la chaudière d'essai, le volume d'eau a été reconnu un peu trop faible, et l'on a obtenu de bien meilleurs résultats sur des machines similaires en remplaçant les tubes de 50 millimètres et de $2^m,50$ de long par d'autres de 65 millimètres et de $3^m,35$ (*).

Dans les machines neuves, on s'est généralement arrêté au diamètre de 65 millimètres et à la longueur de 3 mètres (**).

(*) Voir Transformation des locomotives à grande vitesse (type 1879) du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée en locomotives à bogie, par M. Ch. Baudry, Ingénieur en chef du matériel et de la traction (*Revue générale des chemins de fer*, juillet 1893).

(**) Voir Locomotives compound à quatre cylindres et à grande vitesse du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, par M. Ch. Baudry, Ingénieur en chef du matériel et de la traction (*Revue générale des chemins de fer*, avril 1893).

Le tableau suivant donne les principales dimensions des chaudières des locomotives neuves ou transformées :

DÉSIGNATION	32 LOCOMOTIVES à grande vitesse transformées	40 LOCOMOTIVES à grande vitesse compound à 4 cylindres (neuves)	152 LOCOMOTIVES à marchandises compound à 4 cylindres (neuves)	
Timbre de la chaudière	11 kg	15 kg	15 kg	
Surface totale de la grille en contact avec le combustible	$2^{m2},34$	$2^{m2},41$	$2^{m2},48$	
Projection horizontale de la surface précédente	$2^{m2},24$	$2^{m2},27$	$2^{m2},37$	
Longueur totale de la grille en projection horizontale	$2^m,217$	$2^m,223$	$2^m,327$	
Longueur de la voûte en briques	$0^m,957$	$0^m,957$	$1^m,154$	
Nature des tubes	acier, ailettes	acier; ailettes	acier, ailettes	
Diamètre extérieur des tubes	65 mm	65 mm	65 mm	
Nombre des tubes	113	133	139	
Longueur des tubes entre plaques tubulaires	$3^m,350$	$3^m,000$	$3^m,000$	
Section totale de passage des gaz au milieu des tubes	0,2915	0,3431	0,3586	
Plus petite section totale du passage des gaz à l'entrée des tubes (côté foyer)	0,2883	0,3393	Pour 100 locom. 0,2729	Pour 52 locom. 0,3547
Les tubes sont-ils bagués ou non dans la plaque tubulaire du foyer?	non bagués	non bagués	bagués	non bagués
Surface de chauffe intérieure totale des tubes en contact avec les gaz	131,03	137,38	143,28	
Surface de chauffe du foyer	10,50	10,28	9,98	
Surface de chauffe totale (somme des deux précédentes)	141 53	147,66	153,26	

TABLEAUX Nos 1 A 31.

TABLEAUX Nos 1 A 5. — Tubes lisses en laiton.

Tirages de. . . .	LONGUEURS des tubes	CHIFFRES ABSOLUS — FOYER ORDINAIRE 25	45	75	VOUTE LONGUE 25	45	75	VOUTE COURTE 25	45	75	BOUILLEUR Tenbrink 25	45	75	CHIFFRES RELATIFS (ceux qui se rapportent au foyer réduit étant représentés par 100) — VOUTE LONGUE 25	45	75	VOUTE COURTE 25	45	75	TENBRINK 25	45	75	OBSERVATIONS
	mètres																						
N° 1. — Combustible brut brûlé par heure en kilogrammes. (Activité de la combustion.) P	7	353	504	668	305	438	580	»	»		30	442	586	86	87	87	»	»	»	85	88	88	Dans les tableaux 1 à 4 (inclusivement), il y a des chiffres qui manquent, parce que la voûte courte n'a été essayée qu'à partir de 6 mèt.
	6	370	525	697	318	452	594	349	488		87	471	618	86	86	85	94	93	92	88	90	89	
	5	404	565	752	350	488	632	377	522		35	530	688	87	86	84	93	92	90	95	94	92	
	4,50	428	590	786	374	513	658	405	551		115	564	726	87	87	84	95	93	90	97	96	92	
	4	449	615	817	395	532	678	432	580		135	588	753	88	86	83	96	94	91	97	96	92	
	3,50	462	636	844	405	545	692	448	599		143	600	770	88	86	82	97	94	91	96	94	91	
	3	466	650	863	411	552	704	451	608		146	607	780	88	85	82	97	94	90	96	93	90	
N° 2. — Eau vaporisée par heure en kilogrammes. (Puissance.) E	7	3 600	4.959	6.279	3.120	4.430	5.710	»	»		3.140	4.548	5.825	87	89	91	»	»	»	87	92	93	
	6	3.678	5.029	6.370	3.250	4.540	5.850	3.528	4.806		3.255	4.780	6.056	88	90	92	96	96	96	92	95	95	
	5	3.900	5.248	6.655	3.510	4.831	6.120	3.781	5.100		3.525	5.273	6.604	90	92	92	96	97	97	100	100	99	
	4,50	4.023	5.333	6.760	3.700	4.990	6.251	3.997	5.295		3.712	5.510	6.839	92	94	93	99	99	98	102	103	101	
	4	4.045	5.326	6.716	3.800	5.030	6.244	4.108	5.365		3.775	5.562	6.860	94	94	93	102	101	99	103	104	102	
	3,50	3.908	5.177	6.499	3.740	4.900	6.080	4.041	5.247		3.784	5.406	6.668	94	95	94	101	101	100	102	104	103	
	3	3.667	4.907	6.136	3.580	4.675	5.800	3.824	4.998		3.584	5.150	6.341	98	95	95	104	102	101	105	105	103	
N° 3. — Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut. (Rendement économique.) $\frac{E}{P}$	7	10,20	9,84	9,40	10,29	10,11	9,89	»	»		10,45	10,29	9,94	101	103	105	»	»	»	102	105	106	
	6	9,94	9,58	9,14	10,22	10,04	9,82	10,11	9,85		10,20	10,15	9,80	103	105	107	102	103	105	104	106	107	
	5	9,65	9,29	8,85	10,08	9,90	9,68	10,03	9,77		10,00	9,95	9,60	104	107	109	104	105	108	105	107	108	
	4,50	9,40	9,04	8,60	9,90	9,72	9,50	9,87	9,61		9,91	9,77	9,42	105	108	110	105	106	109	105	108	110	
	4	9,01	8,66	8,22	9,62	9,42	9,20	9,51	9,25		9,60	9,46	9,11	107	109	112	106	107	109	107	109	111	
	3,50	8,47	8,14	7,70	9,22	9,00	8,78	9,02	8,76		9,15	9,01	8,66	109	111	114	106	108	111	108	111	112	
	3	7,87	7,55	7,11	8,70	8,47	8,23	8,48	8,22		8,62	8,48	8,13	111	112	116	108	109	112	110	112	114	
N° 4. — Quantité d'escarbilles en kilogrammes pour 1.000 kilogrammes de combustible brut brûlé.	7	24,5	35,0	55.0	10,8	18,8	24,3	»	»		10,6	16,3	28,8	44	54	44	»	»	»	43	47	52	
	6	17,4	27,9	47,2	5,0	15,9	21,0	9,3	13,8		5,9	15,9	29,0	29	57	44	53	49	62	34	57	61	
	5	14,6	17,7	47,6	6,6	14.6	18,4	7,1	14,8		10,3	17,3	31,0	45	82	39	49	84	55	71	98	65	
	4,50	7,7	26,2	43,3	5,2	10,3	32,1	7,4	15,5		5,9	18,6	41,0	68	39	74	96	59	72	116	71	95	
	4	14,7	22,5	51,2	4.3	10,3	14,7	7,9	16.5		7,5	19.6	27,7	29	46	29	54	73	58	63	87	54	
	3,50	11,4	29,5	47,8	6,5	14,9	24,9	5.1	16,1		5,9	18,3	32,9	57	51	52	45	55	57	87	62	69	
	3	10,9	27,2	41,5	7,3	14,3	20,0	7,6	12,4		8,7	15.4	28,7	67	53	48	70	46	68	61	57	69	
Moyennes.		14,5	26,6	47,7	6,5	14,1	22,2	7,4	14,8		8,3	15,0	31,3	45	53	47	51	56	60	61	56	66	
N° 5. — Degré d'imperfection de la combustion. $100\,\frac{CO}{CO+CO^2}$	7	10,3	11,0	13,3	6,4	8,7	7,4	»	»		10,0	6,4	11,1	62	79	56	»	»	»	97	58	83	Dans le tableau n° 5, il y a des chiffres qui manquent, parce que les prises de gaz n'ont pas été bien faites dans ces expériences, par suite de rentrées d'air.
	6	7,7	10,2	14,4	7,8	4,1	11,7	9,6	8,3		9,2	9,5	11,1	101	40	81	125	81	44	119	93	77	
	5	10,4	10.9	»	4,1	6,5	4,9	5,8	»		6,2	6,5	2,9	39	60	»	56	»	»	60	60	»	
	4,50	7,4	15,4	16,4	8,5	10,4	10,3	4,4	9,2		5,6	3,2	8,2	115	68	63	50	60	76	118	21	50	
	4	12,5	14,2	15,9	6,5	»	5,9	8.6	8,6		6,2	6,5	5,0	52	»	37	69	61	48	50	46	31	
	3,50	13,0	7,1	13,2	10,5	6.8	10,5	9,5	8,0		9,0	11,5	7,4	81	96	80	73	113	75	60	162	56	
	3	8,5	11,0	15,5	5,7	12,6	9,0	9,1	5,8		6,8	4,6	9,0	67	115	58	107	53	71	80	42	58	
Moyennes.		9,9	11,4	14,4	7,0	8,1	8,5	7,8	7,9		8,3	6,9	7,8	71	71	59	79	69	60	84	61	54	

TABLEAUX Nos 6 A 11.

Tirages de.	LONGUEURS des tubes	CHIFFRES ABSOLUS — FOYER ORDINAIRE 25	45	75	VOUTE LONGUE 25	45	75	VOUTE COURTE 25	45
	mètres								
N° 6. — Volume d'air en mètres cubes dépensé par kilogramme de combustible brut. V	7	9,8	9,2	9,0	10,8	9,3	9,6	»	»
	6	10,4	10,1	8,9	9,2	9,4	8,4	9,7	9,8
	5	10,9	10,7	»	10,0	9,4	9,3	9,6	10,0
	4,50	10,5	8,7	8,4	9,6	8,5	8,4	10,3	9,1
	4	9,7	8,7	8,7	9,2	»	9,3	9,4	9,1
	3,50	9,7	10,1	9,3	8,7	8,9	8,2	9,0	8,8
	3	9,9	9,1	9,0	9,0	8,3	8,6	8,7	9,3
Moyennes.		10,1	9,5	8,9	9,5	9,0	8,8	9,5	9,3
N° 7. — Température des gaz dans la boîte à fumée en degrés centigrades.	7	222	236	252	213	224	238	»	»
	6	238	260	279	226	242	265	232	250
	5	270	294	317	256	270	305	264	287
	4,50	292	319	348	276	302	334	286	311
	4	320	352	384	302	332	368	314	343
	3,50	353	390	426	334	370	409	349	381
	3	393	434	480	372	410	455	392	430
N° 8. — Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion. (Chaleur produite, la puissance calorifique étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_1}{C}$	7	92	91	88	95	94	94	»	»
	6	94	92	88	95	96	92	94	94
	5	93	92	»	97	95	96	96	99
	4,50	95	89	92	95	93	92	97	93
	4	92	90	87	96	»	95	95	94
	3,50	92	93	89	93	95	92	94	94
	3	94	92	88	95	92	96	94	96
Moyennes.		92	91	90	95	94	94	95	94
N° 9. — Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur. (Chaleur emmagasinée dans la vapeur, la chaleur produite étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_2}{C_1}$	7	90	88	85	89	88	86	»	»
	6	89	86	83	88	87	85	87	86
	5	85	84	80	87	86	84	86	85
	4,50	84	81	78	85	85	83	85	84
	4	80	78	75	83	82	80	82	81
	3,50	75	73	70	80	79	76	78	76
	3	69	69	65	75	74	72	73	72
N° 10. — Chaleur entraînée par les gaz de la combustion. (La chaleur produite étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_3}{C_1}$	7	9,3	9,5	9,8	8,5	8,8	9,3	»	»
	6	10,4	10,7	11,2	8,8	9,1	9,6	9,2	9,8
	5	11,5	11,8	12,5	9,4	10	10,7	9,8	10,5
	4,50	12	12,4	13,2	9,9	10,7	11,7	10,5	11,3
	4	12,7	13,2	14,3	10,8	11,9	13,0	11,6	12,7
	3,50	14	14,7	16,5	11,9	13,3	14,5	12,9	14,3
	3	16	17	19,6	13,3	15	16,2	14,1	15,9
N° 11. — Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité. (La chaleur produite étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_4}{C_1}$	7	0,7	2,5	5,2	2,5	3,2	4,7	»	»
	6	0,6	3,3	5,8	3,2	3,9	5,4	3,8	4,2
	5	3,5	4,2	7,5	3,6	4	5,3	4,2	4,5
	4,50	4	6,6	8,8	5,1	4,3	5,3	4,5	4,7
	4	7,3	8,8	10,7	6,2	6,1	7	6,4	6,3
	3,50	11	12,3	13,5	8,1	7,7	9,5	9,1	9,7
	3	15	14	15,4	11,7	11	11,8	12,9	12,1

Tubes lisses en laiton.

BOUILLEUR Tenbrink 25	45	75	CHIFFRES RELATIFS (ceux qui se rapportent au foyer ordinaire étant représentés par 100) — VOUTE LONGUE 25	45	75	VOUTE COURTE 25	45	75	TENBRINK 25	45	75	OBSERVATION
9,1	9,2	8,6	110	101	107	»	»	»	93	100	95	Il y a des chiffres qui manquent dans les tableaux ci-contre, pour les mêmes motifs que pour les tableaux nos 1 à 5 ci-dessus.
9,1	8,9	8,6	88	93	94	93	97	108	87	88	97	
10,0	9,8	9,6	92	88	»	88	93	»	92	92	»	
9,7	9,5	8,5	91	98	100	98	105	103	92	109	101	
10,2	9,4	9,6	95	»	107	97	105	106	105	108	110	
9,3	8,7	8,7	90	88	88	93	87	92	96	86	94	
8,6	9,6	8,5	95	91	96	88	102	92	97	105	94	
9,6	9,3	8,9	94	94	99	94	98	100	95	98	100	
213	228	239	96	95	94	»	»	»	96	97	95	
235	244	262	95	93	95	97	96	97	95	94	94	
258	280	304	95	92	96	98	98	98	96	93	96	
278	304	332	95	95	96	98	97	98	95	95	96	
302	332	366	94	94	96	98	97	98	94	94	95	
330	364	404	94	95	96	99	98	99	93	93	95	
362	402	450	95	94	95	100	99	98	92	93	94	
93	95	91	103	103	107	»	»	»	101	104	103	
91	94	93	101	104	105	100	102	107	100	102	106	
96	95	96	104	103	»	103	108	»	103	103	»	
94	97	92	100	101	100	102	104	98	99	109	100	
96	95	95	104	»	109	103	104	107	104	106	109	
91	92	93	101	102	103	102	101	103	102	99	104	
95	96	93	101	100	109	100	104	105	101	101	106	
95	91	93	103	103	106	103	103	104	103	103	104	
90	90	87	99	100	101	»	»	»	100	102	102	
89	88	86	99	101	102	98	100	101	100	102	104	
87	87	84	102	102	105	101	101	105	102	104	105	
85	85	83	101	105	106	101	104	105	101	105	106	
83	82	80	104	105	107	102	104	105	104	105	107	
79	78	76	107	108	109	104	104	107	105	107	109	
74	74	72	109	108	111	106	104	108	108	108	111	
8,5	8,8	9,2	91	93	95	»	»	»	91	93	94	
8,8	9,2	9,8	85	85	86	88	92	91	85	86	88	
9,6	10,1	10,8	82	85	86	85	89	93	83	86	86	
10,2	10,8	11,6	83	86	89	88	91	95	85	87	88	
11,1	11,8	13,0	85	90	91	91	96	99	87	89	91	
12,5	13,4	14,8	85	90	88	92	97	98	89	91	90	
14,3	15,4	17,1	83	88	83	88	94	91	89	91	87	
1,5	1,2	3,8	357	128	90	»	»	»	214	48	73	
2,2	2,8	4,2	533	118	93	633	127	95	366	85	72	
3,4	2,9	5,2	103	95	71	120	107	59	97	69	69	
4,8	4,2	5,4	128	65	60	112	71	63	120	64	61	
5,9	6,2	7	85	70	65	88	72	64	81	71	65	
8,5	8,6	9,2	74	63	70	83	79	66	77	70	68	
11,7	10,6	10,9	78	78	77	86	86	79	78	70	71	

TABLEAU N° 12. — Tubes lisses en lait

LONGUEURS des tubes		Tirages de. . . .	FOYER ORDINAIRE 25	45	75
	Chaleur totale C.		1.000	1.000	1.000
mètres 7	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	828	801	765
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	86	86	86
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	6	23	49
6	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	819	783	717
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	95	97	100
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	6	30	83
5	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	782	765	730
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	106	107	110
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	32	38	60
4,50	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	773	737	705
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	110	113	114
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	37	60	81
4	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	736	710	672
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	117	120	125
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	67	80	103
3,50	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	690	664	630
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	129	134	140
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	101	112	130
3	Chaleur	non dégagée C — C_1	80	90	100
		emmagasinée dans la vapeur C_2	635	628	585
		entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	147	155	170
		perdue par rayonnement et conductibilité C_4 .	138	127	145

Il y a des chiffres qui manquent dans le tableau ci-dessus pour les mêmes motifs que pour les tableaux

— Répartition de la chaleur totale.

VOUTE LONGUE 25	45	75	VOUTE COURTE 25	45	75	TENBRINK 25	45	75
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50	60	60	»	»	»	50	60	70
845	827	808	»	»	»	855	846	809
81	83	88	»	»	»	81	83	86
24	30	44	»	»	»	14	11	35
50	60	60	50	60	70	50	60	70
836	818	799	827	808	781	845	827	800
84	85	90	87	92	98	84	87	91
30	37	51	36	40	51	21	26	39
50	60	60	50	60	70	50	60	70
827	808	790	817	799	781	827	818	781
99	94	101	93	99	108	91	95	100
34	38	49	40	42	41	32	27	49
50	60	60	50	60	70	50	60	70
808	799	780	807	790	763	807	799	772
94	101	110	100	106	116	97	101	108
48	40	50	43	44	51	46	40	50
50	60	60	50	60	70	50	60	70
788	771	752	779	762	735	789	771	744
103	112	122	110	119	132	105	111	121
59	57	66	61	59	63	56	58	65
50	60	60	50	60	70	50	60	70
760	743	715	741	715	697	750	733	707
113	125	136	123	134	150	119	126	138
77	72	89	86	91	83	81	81	85
50	60	60	50	60	70	50	60	70
716	696	677	694	677	651	703	696	670
126	141	152	134	149	167	136	145	159
111	103	111	122	114	112	111	99	101

3 ci-dessus.

TABLEAU N° 13. — Tubes lisses en laiton de 4 mètres de longueur. — Influence de la réduction du nombre des tubes.

		FOYER ORDINAIRE												VOUTE COURTE											
		CHIFFRES ABSOLUS						CHIFFRES RELATIFS (ceux qui se rapportent à la tubulure complète étant représentés par 100)						CHIFFRES ABSOLUS DE						CHIFFRES RELATIFS (ceux qui se rapportent à la tubulure complète étant représentés par 100)					
		TUBULURE complète		TUBULURE RÉDUITE DE										TUBULURE complète		TUBULURE RÉDUITE									
				5 p. 100		10 p. 100		15 p. 100		10 p. 100		15 p. 100				5 p. 100		10 p. 100		15 p. 100		5 p. 100		10 p. 100		15 p. 100	
Tirages de. . . .		45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75	45	75
Combustible brut brûlé par heure (en kilogrammes).	P	615	817	595	789	569	768	551	736	96	92	94	90	83	580	740	561	709	499	684	506	656	97	96	86	92	87	88
Eau vaporisée par heure (en kilogrammes).	E	5.326	6.716	5.169	6.370	4.944	6.183	4.768	5.977	97	95	93	92	88	86	5.365	6.666	5.295	6.689	4.769	6.313	4.754	6.045	98	100	89	94	88	90
Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut brûlé (en kilogrammes).	$\frac{E}{P}$	8,66	8,22	8,68	8,06	8,68	8,05	8,51	8,12	100	98	99	103	9,25	9,00	9,43	9,42	9,55	9,23	9,38	9,21	102	104	103	102	101	102
Quantité d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible brut brûlé (en kilogrammes)	»	22,5	51,2	21,6	44,3	20,5	34,3	18,6	33,2	87	91	67	83	55	16,5	29,7	13,0	22,3	11,6	21,3	10,0	21,1	79	76	70	72	61	71
Degré d'imperfection de combustion.	$\left(100\frac{CO}{CO+CO^2}\right)$	14,2	15,9	10,9	13,9	11,2	15,0	10,0	14,8	87	79	94	70	66	8,6	7,6	10,7	6,2	8,6	6,0	8,3	6,4	124	82	100	79	97	84
Volume d'air dépensé par kilogrammes de combustible brut brûlé (en mètres cubes).	»	8,70	8,70	9,50	9,10	9,30	8,80	9,50	8,80	105	106	101	109	108	9,10	9,20	8,70	9,10	9,20	9,30	9,10	9,10	95	99	101	101	100	99
Température dans la boîte à fumée (en degrés centigrades)	»	352	384	350	386	354	385	355	384	100	100	100	100	97	343	377	353	387	343	388	349	381	103	103	100	103	102	101
Chaleur produite. . . . . (La puissance calorifique étant représentée par 100.)	$100\frac{C_1}{C}$	90	87	92	89	92	89	93	90	102	102	102	103	106	94	93	93	95	94	95	94	95	99	102	99	102	99	102
Chaleur emmagasinée dans la vapeur. . . . . (La chaleur produite étant représentée par 100.)	$100\frac{C_2}{C_1}$	78,0	75,0	76,7	73,6	76,7	73,4	74,6	73,0	98	99	98	96	99	81,0	79,0	82,3	80,5	83,6	78,9	82,1	78,8	101	102	103	100	101	99
Chaleur entraînée par les gaz de la combustion . . . . . (La chaleur produite étant représentée par 100.)	$100\frac{C_3}{C_1}$	13,2	14,3	12,9	14,6	12,4	14,0	12,9	14,0	102	94	98	98	93	12,7	14,2	12,5	14,3	12,4	14,3	12,7	14,3	99	100	98	100	100	100
Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité. . . . . (La chaleur produite étant représentée par 100.)	$100\frac{C_4}{C_1}$	8,8	10,7	10,4	11,8	10,9	12,6	12,5	13,0	110	124	118	142	112	6,3	6,8	5,2	5,2	4,0	6,8	5,2	6,9	82	77	63	100	82	101

TABLEAU N° 14. — **Expériences sur les chaudières à tubes lis… locomotives construites en 1889 (tubes en fer).**

	TIMBRE	GRILLE	TUBES				SURFACE DE CHAUFFE			RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES				
			DIAMÈTRE extérieur	NOMBRE	LONGUEURS entre les plaques tubulaires	SECTION de passage au milieu	FOYER	TUBES	TOTALE	Tirages de. . . .	25	45	75	100	120
	kilogr.	m²	mm.		mètres	m²	m²	m²	m²		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Locomotive Compound à grande vitesse, C-1. Tubes de 50 millim. de diamètre (en fer). Voûte de 1m,212. Après un parcours de 62.086 kilom.	15	2,34	50	185	4,035	0,3021		107,86	119,48	Consommation de combustible par heure.	427	564	708	820	910
										Eau vaporisée par heure.	3.786	4.930	6.100	6.888	7.280
										Eau vaporisée par kilogramme de combustible.	8,87	8,74	8,62	8,40	8
										Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	14	17,5	23,1	27,8	31,5
Locomotive Compound à grande vitesse, C-2. Tubes de 45 millim. de diamètre (en fer). Voûte de 1m,212. Après un parcours de 92.742 kilom.	15	2,34	45	224	4,035	0,2957		116,41	128,03	Consommation de combustible par heure.	415	540	683	780	850
										Eau vaporisée par heure.	3.632	4.730	5 880	6.591	7.038
										Eau vaporisée par kilogramme de combustible	8,80	8,76	8,61	8,45	8,28
										Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	11,3	15,5	19,9	27,5	32
Locomotive Compound à marchandises, n° 3201. Tubes de 45 millim. de diamètre (en fer). Voûte de 1m,154. Après un parcours de 50.627 kilom.	15	2,37	45	247	4,350	0,3260		138,39	148,86	Consommation de combustible par heure.	445	580	732	848	920
										Eau vaporisée par heure.	3.973	5.092	6.259	7.047	7.452
										Eau vaporisée par kilogramme de combustible.	8,93	8,78	8,55	8,31	8,1
										Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	9,5	13,3	19	27,7	27,7
Locomotive Compound à marchandises, n° 3202. Tubes de 40 millim. de diamètre (en fer). Voûte de 1m,154. Après un parcours de 49.618 kilom.	15	2,37	40	307	4,350	0,3193		152,71	163,19	Consommation de combustible par heure.	415	554	673	770	846
										Eau vaporisée par heure.	3.756	4.795	5.943	6.684	7.191
										Eau vaporisée par kilogramme de combustible.	9,05	8,98	8,83	8,68	8,5
										Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	11	14,4	19,6	24	27,7
Locomotive Compound pour lignes à fortes rampes, n° 4301. Tubes de 50 millim. de diamètre (en fer). Voûte de 0m,956. Après un parcours de 37.991 kilom.	15	2,18	50	247	4,150	0,4033		146,72	157,68	Consommation de combustible par heure	524	668	865	1.018	1.135
										Eau vaporisée par heure.	4.716	5.858	7.291	8,144	8.625
										Eau vaporisée par kilogramme de combustible.	9	8,77	8,43	8	7,5
										Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	25,2	27,2	44	63,3	94,5
Locomotive Compound pour lignes à fortes rampes, n° 4302. Tubes de 55 millim. de diamètre (en fer). Voûte de 0m,956. Après un parcours de 44.830 kilom.	15	2,18	55	210	4,150	0,4223		138,57	149,51	Consommation de combustible par heure.	563	738	960	1.130	1.250
										Eau vaporisée par heure.	4.814	6.243	7.920	8.870	9.375
										Eau vaporisée par kilogramme de combustible.	8,55	8,46	8,25	7,85	7,5
										Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	17,5	32	57	82	104

TABLEAU N° 15. — **Comparaison des résultats du tableau n° 14 se rapportant deux à deux et à égalité de puissance les machines de mêmes types munies de tubes de diamètres différents.**

			PUISSANCES (QUANTITÉ D'EAU VAPORISÉE PAR HEURE EN KILOGRAMMES)				
			4.000 kilogrammes	5.000 kilogrammes	6.000 kilogrammes	7.000 kilogrammes	8.000 kilogrammes
Comparaison des résultats des machines C-1 *et* C-2.	*Machine* C-2. — Tubes de 45 . . .	Tirage	30,5	51	79	116	»
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	8,79	8,73	8,6	8,30	»
	Machine C-1. — Tubes de 50 . . .	Tirage	28,5	46,25	71,5	105,5	»
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	8,83	8,76	8,61	8,26	»
	Chiffres relatifs à la machine C-1 (ceux de la machine C-2 étant représentés par 100)	Tirage	93	90,6	90,5	91	»
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	100	100,3	100	99,5	»
Comparaison des résultats des machines 3201 *et* 3202.	*Machine* 3202. — Tubes de 40 . . .	Tirage	29	49,5	77	112	»
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	9,03	8,96	8,82	8,58	»
	Machine 3201. — Tubes de 45 . . .	Tirage	25,5	42	67,5	98	»
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	8,92	8,79	8,60	8,33	»
	Chiffres relatifs à la machine 3201 (ceux de la machine 3202 étant représentés par 100)	Tirage	88	85	87	87	»
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	99	98	98	97	»
Comparaison des résultats des machines 4301 *et* 4302.	*Machine* 4301. — Tubes de 50 . . .	Tirage	»	30	48	75	95
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	»	8,95	8,75	8,48	8,1
	Machine 4302. — Tubes de 55 . . .	Tirage	»	27	41,5	57	77
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	»	8,53	8,48	8,4	8,23
	Chiffres relatifs à la machine 4302 (ceux de la machine 4301 étant représentés par 100)	Tirage	»	90	86	76	81
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible	»	95	97	99	101

TABLEAU N° 16. — **Comparaison des résultats relatifs à la machine C-1 avec ceux de la chaudière d'expérience de la première partie.**

OBSERVATIONS	CHAUDIÈRE D'EXPÉRIENCE (tubes en laiton de 4 mètres; voûte courte de 1,212; pression, 10 kilogrammes)			MACHINE C-1 (tubes en fer de 4m,035; voûte de 1,212; pression, 15 kilogrammes)			RÉSULTATS DE LA CHAUDIÈRE C-1 (ceux de la chaudière d'expérience étant représentés par 100)		
Tirages de. . .	25	45	75	25	45	75	25	45	75
Consommation de combustible par heure.	432	580	740	427	564	708	99	97	96
Eau vaporisée par heure	4,108	5,365	6,666	3,786	4,93	6,1	92	92	92
Eau vaporisée par kilogramme de combustible.	9,51	9,25	9	8,87	8,74	8,62	94	95	96
Proportion d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible.	7,9	16,5	29,7	14	17,5	23,1	177	106	78
Température dans la boîte à fumée (en degrés centigrades)	314	343	377	315	348	375	100	101	99

TABLEAUX N^os 17 A 21. — Tubes en laiton à ailettes.

Tirages de.....	LONGUEURS des tubes	TUBES A AILETTES DE [illegible] DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR					TUBES A AILETTES DE 65mm DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR									
		VOUTE DE 1m,212				BOUILLEUR TENBRINK					VOUTE DE 1m,212				BOUILLEUR TENBRINK	
		25	45	75	100	[illegible]	25	45	45	100	120	25	45	75	100	120	25	45	75	100	120	25	45	75	100	120
N° 17. — Combustible brut brûlé par heure en kilogrammes. (Activité de la combustion.) P	mètres 4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	440	580	730	834	895	430	565	718	815	879					
	3,500	338	470	600	690	[illegible]	»	»	»	»	»	445	589	742	859	935	435	572	725	825	905					
	3	345	483	620	720	[illegible]	»	»	»	»	»	460	612	775	910	999	445	600	763	872	960					
	2,500	395	524	672	780	[illegible]	525	700	820	900		470	635	800	925	1.025	451	610	778	886	980					
	2	408	540	690	800	[illegible]	565	715	828	907		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
N° 18. — Eau vaporisée par heure (en kilogrammes). (Puissance.) E	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4.246	5.475	6.709	7.498	7.903	4.170	5.379	6.699	7.506	7.972					
	3,500	3.365	4.635	5.910	6.762	[illegible]	»	»	»	»	»	4.258	5.507	6.752	7.637	8.163	4.210	5.434	6.750	7.573	8.190					
	3	3.398	4.724	6.014	6.919	[illegible]	»	»	»	»	»	4 301	5.581	6.859	7.853	8.432	4.250	5.622	6.997	7.874	8.544					
	2,500	3.804	5.004	6.357	7.292	[illegible]	5.045	6.664	7.708	8.388		4.089	5.314	6.480	7.243	7.780	4.082	5.374	6.624	7.354	7.938					
	2	3.815	4.995	6.313	7.232	[illegible]	5.251	6.585	7.535	8.181		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
N° 19. — Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut (en kilogrammes). (Rendement économique.) $\frac{E}{P}$	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9,65	9,44	9,19	8,99	8,83	9,70	9,52	9,33	9,21	9,07					
	3,500	9,95	9,90	9,85	9,80	[illegible]	»	»	»	»	»	9,57	9,35	9,10	8,89	8,73	9,68	9,50	9,31	9,18	9,05					
	3	9,85	9,78	9,70	9,61	[illegible]	»	»	»	»	»	9,35	9,12	8,85	8,63	8,43	9,55	9,37	9,17	9,03	8,90					
	2,500	9,63	9,55	9,46	9,35	[illegible]	9,7	9,61	9,52	9,40	9,32	8,70	8,40	8,10	7,83	7,59	9,05	8,81	8,51	8,30	8,10					
	2	9,35	9,25	9,15	9,04	[illegible]	9,39	9,30	9,21	9,10	9,02	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
N° 20. — Quantité d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible brut brûlé (en kilogrammes).	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	14,3	21,6	29,4	32,4	36,9	14,7	17,5	26,8	31,1	32,6					
	3,500	12,2	14,0	25,3	40,7	[illegible]	»	»	»	»	»	16,5	20,2	23,2	27,9	35,8	13,7	15,1	24,1	30,1	32,1					
	3	25,7	26,1	24,2	36,2	[illegible]	»	»	»	»	»	17,3	20,5	29,2	47,0	70,2	20,5	32,2	38,2	50,0	57,7					
	2,500	17,2	22,6	48,6	50,2	[illegible]	17,6	26,9	33,0	50,0	57,7	21,3	23,4	27,3	35,7	42,7	21,8	27,8	31,5	34,2	41,5					
	2	17,4	17,3	27,2	28,2	[illegible]	14,5	20,1	30,2	39,6	47,4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
Moyennes.....		18,1	20,0	31,3	38,8	[illegible]	16,0	23,5	31,6	44,8	52,5	17,3	21,4	27,3	35,7	46,4	17,7	23,1	30,1	36,3	41,0					
Moyennes rectifiées.....		18,1	22,8	28,5	38,8	[illegible]	15,3	24	31,6	43,8	53,8	17,3	21,5	26,8	36,5	46,4	17,7	23,75	28,8	37,1	45					
N° 21. — Degré d'imperfection de la combustion. Valeur de $100 \frac{CO}{CO+CO^2}$	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8,3	8,2	5,2	7,3	12,4	11,4	9,7	9,1	14,3	11,7					
	3,500	2,9	2,9	5,8	19,6	[illegible]	»	»	»	»	»	15,1	12,5	7,7	7,1	12,9	10,8	12,5	10,0	6,6	8,3					
	3	6,1	5,5	15,1	12,1	[illegible]	»	»	»	»	»	8,3	11,2	8,8	18	7,0	2,4	2,2	5,0	10,0	9,5					
	2,500	13,7	12,6	6,3	8,7	[illegible]	6,1	12,2	16,6	19,0	12,3	8,9	12,0	20,0	18,8	18,4	8,1	12,5	10,3	15,5	14,0					
	2	7,0	10,0	11,2	3,3	[illegible]	9,3	12,1	2,6	6,7	3,2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
Moyennes.....		7,4	7,7	9,6	11,0	[illegible]	7,7	12,1	9,6	12,8	7,7	10,1	11,0	10,4	12,8	12,6	8,2	9,2	8,6	11,6	10,9					

NOTA. — Les chiffres qui manquent correspondent à des expériences qui n'ont pas été faites parce qu[illegible] manquaient d'intérêt.

TABLEAUX N^os 22 A 27. — Tubes en laiton à ailettes.

	LONGUEURS des tubes	TUBES A AILETTES DE 5[illegible] DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR					TUBES A AILETTES DE 65^mm DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR									
		VOUTE DE 1^m,212				BOUILLEUR TENBRINK	VOUTE DE 1^m,212					BOUILLEUR TENBRINK				
Tirages de		25	45	75	100	120	25	45	75	100	120	25	45	75	100	120
N° 22. — Volume d'air exprimé en mètres cubes par kilogramme de combustible brut. V	mètres 4	»	»	»	»	»	8,3	8,3	8,5	8,4	8,0	7,8	8,4	8,3	8,1	8,0
	3,500	9,4	9,0	12,0	9,8	»	7,9	8,2	8,7	9,1	9,1	8,4	8,2	8,7	8,4	8,8
	3	10.4	9,8	8,6	9,3	»	8,2	8,1	8,6	8,7	9,3	9,8	9,3	9,3	8,8	8,6
	2,500	9,3	8,8	9,5	10,6	[illegible]	7,6	7,4	7,2	7,5	7,2	8,4	7,7	8,5	7,3	7,6
	2	9,4	8,1	8,5	10,5	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Moyennes		9,6	8,9	9,7	10,1	[illegible]	8,0	8,0	8,2	8,2	8,4	8,6	8,4	8,7	8,2	8,0
N° 23. — Température des gaz dans la boîte à fumée en degrés centigrades.	4	»	»	»	»	»	247	272	290	306	323	246	268	288	302	314
	3,500	218	227	235	241	[illegible]	277	308	330	347	365	268	292	312	326	334
	3	237	252	266	275	[illegible]	317	349	376	393	413	298	322	343	357	366
	2,500	274	293	310	323	[illegible]	362	403	430	449	468	345	373	398	414	425
	2	329	352	378	391	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
N° 24. — Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion. (Chaleur produite, la puissance calorifique étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_1}{C}$	4	»	»	»	»	»	94	94	95	93	90	92	93	93	89	91
	3,500	98	97	95	91	[illegible]	90	91	94	94	90	92	91	92	94	93
	3	95	95	90	91	[illegible]	94	92	93	86	91	97	96	94	90	91
	2,500	91	91	93	91	[illegible]	93	92	87	87	87	94	91	92	89	89
	2	95	93	91	96	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Moyennes.		95	94	92	92	[illegible]	93	92	92	90	89	94	93	93	91	91
Moyennes rectifiées.		95	93,75	92,5	92	[illegible]	92	92	91	90	89,5	93,75	93,25	*92,25	91,625	90,75
N° 25. — Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur. (Chaleur emmagasinée dans la vapeur, la chaleur produite étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_2}{C_1}$	4	»	»	»	»	»	86	84	83	82	80	85	84	83	82	82
	3,500	86	87	87	87	[illegible]	85	83	82	81	80	84	83	83	82	81
	3	85	85	86	85	[illegible]	83	81	80	78	77	83	82	84	81	80
	2,500	83	83	84	83	[illegible]	77	75	73	71	69	79	77	75	73	73
	2	81	81	81	80	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
N° 26. — Chaleur entraînée par les gaz de la combustion. (La chaleur produite étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_3}{C_1}$	4	»	»	»	»	»	8,1	8,8	10,2	11,2	12,0	8,2	8,8	9,8	10,2	10,5
	3,500	7,3	7,4	8,7	9,4	[illegible]	9,5	10,2	11,3	12,6	13,1	9,5	10,1	11,3	11,6	11,9
	3	9,0	9,1	10,4	11,2	[illegible]	10,8	11,6	12,8	14,0	14,5	10,8	11,4	12,8	13,1	13,4
	2,500	10,8	10,9	12,1	13,1	[illegible]	12,1	13,0	14,1	15,4	15,8	12,1	12,7	14,3	14,5	14,8
	2	12,5	12,6	13,8	15,0	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
N° 27. — Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité. (La chaleur produite étant représentée par 100.) $100\,\frac{C_4}{C_1}$	4	»	»	»	»	»	5,9	7,2	6,8	6,8	8,0	6,8	7,2	7,2	7,8	7,5
	3,500	6,7	5 6	4,3	3,6	[illegible]	5,5	6,8	6,5	6,4	6,9	6,5	6,9	5,7	6,4	7,1
	3	6,0	5,9	3,6	3,8	[illegible]	6,2	7,4	7,2	8,0	8,5	6,2	6,6	6,2	5,9	6,6
	2,500	6,2	6,1	3,9	3,9	[illegible]	10,9	12,0	12,9	13,6	15,2	8,9	10,3	10,7	12,5	12,2
	2	6,5	6,4	5,2	5,0	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TABLEAU N° 28. — Tubes en laiton à ailettes. — Répartition de la chaleur totale.

LONGUEURS des tubes	Tirages de.	TUBES A AILETTES DE 50mm DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR — VOUTE DE 1m,212					TUBES A AILETTES DE 50mm DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR — BOUILLEUR TENBRINK					TUBES A AILETTES DE 65mm DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR — VOUTE DE 1m,212					TUBES A AILETTES DE 65mm DE DIAMÈTRE EXTÉRIEUR — BOUILLEUR TENBRINK				
		25	45	75	100	120	25	45	75	100	120	25	45	75	100	120	25	45	75	100	120
»	Chaleur totale C.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
mètres 4,000	Chaleur non dégagée C — C_1.	»	»	»	»		»	»	»	»	»	80	80	90	100	105	63	68	78	84	93
	Chaleur emmagasinée dans la vapeur C_2	»	»	»	»		»	»	»	»	»	791	773	755	738	716	797	783	766	751	744
	Chaleur entraînée par les gaz de la combustion C_3. . . .	»	»	»	»		»	»	»	»	»	75	81	93	101	107	77	82	90	94	95
	Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité C_4.	»	»	»	»		»	»	»	»	»	54	66	62	61	72	63	67	66	71	68
3,500	Chaleur non dégagée C — C_1	50	63	75	80		»	»	»	»	»	80	80	90	100	105	63	68	78	84	93
	Chaleur emmagasinée dans la vapeur C_2	817	816	805	800		»	»	»	»	»	782	764	746	729	716	787	774	766	751	735
	Chaleur entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	69	69	80	86		»	»	»	»	»	87	94	105	113	117	89	94	104	106	108
	Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité C_4.	64	52	40	34		»	»	»	»	»	51	62	59	58	62	61	64	52	59	64
3,000	Chaleur non dégagée C — C_1	50	63	75	80		»	»	»	»	»	80	80	90	100	105	63	68	78	84	93
	Chaleur emmagasinée dans la vapeur C_2	807	797	796	782		»	»	»	»	»	764	745	728	702	689	778	765	747	742	726
	Chaleur entraînée par les gaz de la combustion C_3 . .	86	85	96	103		»	»	»	»	»	99	107	116	126	130	101	106	118	120	121
	Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité C_4.	57	55	33	35		»	»	»	»	»	57	68	66	72	76	58	61	57	54	60
2,500	Chaleur non dégagée G — C_1	50	63	75	80		57	80	90	90	85	80	80	90	100	105	63	68	78	84	93
	Chaleur emmagasinée dans la vapeur C_2	788	778	777	764		763	782	783	764	759	708	690	664	639	618	741	718	692	669	662
	Chaleur entraînée par les gaz de la combustion C_4 . .	103	102	112	120		94	105	107	118	126	112	120	129	148	141	113	118	132	133	134
	Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité C_4.	59	57	36	36		46	33	20	28	30	100	110	117	113	136	83	96	98	114	111
2,000	Chaleur non dégagée C — C_1	50	63	75	80		57	80	90	90	85	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Chaleur emmagasinée dans la vapeur C_2	769	759	749	736		763	764	755	746	741	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Chaleur entraînée par les gaz de la combustion C_4 . .	119	118	128	138		109	118	121	132	141	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité C_4.	62	60	48	46		52	38	34	32	33	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TABLEAU N° 29. — **Comparaison à égalité de tirage des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes** (les tubes ayant la longueur qui donne pour chaque espèce le maximum de puissance).

			FOYER MUNI D'UNE VOUTE EN BRIQUES COURTE									FOYER MUNI D'UN BOUILLEUR TENBRINK								
			TUBES LISSES de 50 millimètres			TUBES A AILETTES de 50 millimètres			de 65 millimètres			TUBES LISSES de 50 millimètres			TUBES A AILETTES de 50 millimètres			de 65 millimètres		
ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE LA CHAUDIÈRE.	*Tubes.*	Métal.	laiton			laiton			laiton			laiton			laiton			laiton		
		Longueur entre plaques tubulaires (en mètres)	4,000			2,500			3,000			4,000			2,500			3,000		
		Nombre de tubes	185			185			113			185			185			113		
		Section totale intérieure des tubes. courante (en mètres carrés)	0,30747			0,26758			0,30047			0,30747			0,26758			0,30047		
		Section totale intérieure des tubes. aux viroles du foyer (en mètres carrés)	0,18833			0,18833			0,22190			0,18833			0,18833			0,22190		
	Surface de chauffe.	du foyer (en mètres carrés)	10,12			10,12			10,12			14,19			14,19			14,19		
		des tubes (en mètres carrés)	106,94			117,14			121,90			106,94			117,14			121,90		
		totale (en mètres carrés)	117,06			127,26			132,02			121,13			131,33			136,09		
		Tirages de	25	45	75	25	45	75	25	45	75	25	45	75	25	45	75	25	45	75
RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES	*Valeurs absolues.*	Combustible brut brûlé par heure (en kilogrammes) P	432	580	740	395	524	672	460	612	775	435	588	753	395	525	700	445	600	763
		Eau vaporisée par heure (en kilogrammes ou en litres) E	4.963	5.365	6.666	3.804	5.004	6.357	4.301	5.581	6.859	4.176	5.362	6.860	3.832	5.045	6.664	4.250	5.622	6.997
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut (en kilogrammes ou en litres) E/P	9,51	9,25	9,00	9,63	9,55	9,46	9,35	9,12	8,85	9,6	9,46	9,11	9,7	9,61	9,52	9,55	9,37	9,17
		Quantité d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible brut brûlé (en kilogrammes)	14,4	14,8	28,5	18,1	22,8	28,5	17,3	21,5	26,8	8,8	15,0	31,3	15,33	24	31,6	17,7	23,75	28,8
		Degré d'imperfection de la combustion. $100\frac{CO}{CO+C}$	7,8	7,9	8,6	7,4	7,7	9,6	10,1	11	10,4	8,3	6,9	7,8	7,7	12,1	9,6	8,2	9,2	8,6
		Volume d'air dépensé par kilogramme de combustible brut brûlé (en mètres cubes)	9,5	9,3	9,0	9,6	8,9	9,7	8	8	8,2	9,6	9,3	8,9	9,2	9,0	8,9	8,6	8,4	8,7
		Température des gaz dans la boîte à fumée (en degrés centigrades)	314	343	377	274	293	310	317	349	376	302	332	366	264	286	307	298	322	343
		Chaleur produite (la puissance calorifique étant représentée par 100) $100\frac{C_1+C_2}{C}$	95	94	93	95	93,75	92,5	92	92	91	95	94	93	93,25	92	91	93,75	93,25	92,25
		Chaleur emmagasinée dans la vapeur (la chaleur produite étant représentée par 100) $100\frac{C_1}{C_1+C_2}$	82	81	79	83	83	84	83	81	80	83	82	80	85	85	86	83	82	81
		Chaleur entraînée par les gaz de la combustion (la chaleur produite étant représentée par 100) $100\frac{C_2}{C_1+C_2}$	11,6	12,7	14,2	10,8	10,9	12,1	10,8	11,6	12,8	11,1	11,8	13,0	10,1	11,4	11,8	10,8	11,4	12,8
		Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité (la chaleur produite étant représentée par 100) $100\frac{C_3}{C}$	6,4	6,3	6,8	6,2	6,1	3,9	6,2	7,4	7,2	5,9	6,2	7,0	4,9	8,6	2,2	6,2	6,6	6,2
	Valeurs relatives (les chiffres qui se rapportent aux tubes lisses étant représentés par 100).	Combustible brut brûlé par heure (en kilogrammes) P	100	100	100	91	90	91	106	106	105	100	100	100	90,5	89,5	93	102	102	101
		Eau vaporisée par heure (en kilogrammes ou en litres) E	100	100	100	93	93	95	105	104	103	100	100	100	91	91	97	102	101	102
		Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut (en kilogrammes ou en litres) E/P	100	100	100	101	103	105	98	98	98	100	100	100	101	102	104	99	99	101
		Quantité d'escarbilles pour 1.000 kilogrammes de combustible brut brûlé (en kilogrammes)	100	100	100	215	154	100	234	145	94	100	100	100	174	160	100	201	158	92
		Degré d'imperfection de la combustion. $100\frac{CO}{CO+C}$	100	100	100	95	98	111	130	139	121	100	100	100	93	175	123	99	133	111
		Volume d'air dépensé par kilogramme de combustible brut brûlé (en mètres cubes)	100	100	100	101	96	108	84	86	91	100	100	100	96	97	100	90	90	98
		Température des gaz dans la boîte à fumée (en degrés centigrades)	100	100	100	87	85	82	101	102	100	100	100	100	87	86	84	99	97	94
		Chaleur produite (la puissance calorifique étant représentée par 100) $100\frac{C_1+C_2}{C}$	100	100	100	100	100	100	97	98	98	100	100	100	98	98	98	99	99	99
		Chaleur emmagasinée dans la vapeur (la chaleur produite étant représentée par 100) $100\frac{C_1}{C_1+C_2}$	100	100	100	101	102	106	101	100	101	100	100	100	102	104	110	100	100	101
		Chaleur entraînée par les gaz de la combustion (la chaleur produite étant représentée par 100) $100\frac{C_2}{C_1+C_2}$	100	100	100	93	86	85	93	91	90	100	100	100	91	97	91	97	97	98
		Chaleur perdue par rayonnement et conductibilité (la chaleur produite étant représentée par 100) $100\frac{C_3}{C}$	100	100	100	97	97	57	97	117	106	100	100	100	83	138	31	105	106	88

TABLEAU N° 30. — **Comparaison des tubes en laiton lisses et à**

(Voûte courte dans les

Surfaces de chauffe des tubes en contact avec les gaz	Production de vapeur par heure	TUBES LISSES DE 50 MILLIMÈTRES en laiton			TUBES A AILETTES DE 50 MILL en laiton		
		Longueurs des tubes	TIRAGES	Eau vaporisée par kilogramme de combustible	Longueurs des tubes	TIRAGES	Eau vaporisée par kilogramme de combustible
		mètres	millimètres		mètres	millimètres	
160,44	4.806	6	45	9,85	3,394	48	9,8
133,68	5.100	5	45	9,77	2,862	51	9,7
120,31	5.295	4,50	45	9,61	2,653	53	9,6
106,94	5.365	4	45	9,25	2,431	52	9,9

TABLEAU N° 31. — **Comparaison des tubes en laiton lisses et à et de diamètre de tub**

(Voûte courte d

LONGUEURS des tubes	TIRAGES	TUBES LISSES DE 50 MILLIMÈTRES en laiton		
		Surfaces de chauffe des tubes en contact avec les gaz	Quantités d'eau vaporisée à l'heure	Quantités d'eau vaporisée par kilogramme de combusti
		mètres carrés		
Tubes de 3 mètres	45	80,21	4.998	8,22
	75	80,21	6.200	7,97
Tubes de 3m,50	45	93,58	5.247	8,76
	75	93,58	6.510	8,51

bes en laiton à ailettes à égalité de surface de chauffe et de puissance.

s. — Tirages moyens.)

TUBES A AILETTES DE 65 MILLIMÈTRES en laiton			Tirages nécessaires et quantités d'eau vaporisées par kilogramme de combustible avec les tubes à ailettes (les mêmes éléments étant représentés par 100 pour les tubes lisses)			
			TUBES A AILETTES de 50 millimètres		TUBES A AILETTES de 65 millimètres	
Longueurs des tubes	TIRAGES	Eau vaporisée par kilogramme de combustible	TIRAGES	Quantités d'eau vaporisées par kilogramme de combustible	TIRAGES	Quantités d'eau vaporisées par kilogramme de combustible
ètres	millimètres					
3,910	33	9,545	107	100	73	97
3,281	36	9,345	113	100	80	96
2,970	39	9,16	118	100	87	95
2,641	42	8,76	115	103	93	95

bes en laiton à ailettes, de faible longueur à égalité de longueur et à égalité de tirage.

es deux cas.)

TUBES A AILETTES DE 50 MILLIMÈTRES en laiton			Surface de chauffe, quantités d'eau vaporisées à l'heure et quantités d'eau vaporisées par kilogramme de combustible avec les tubes à ailettes (les mêmes données dans les tubes lisses étant représentées par 100)		
Surfaces de chauffe des tubes en contact avec les gaz	Quantités d'eau vaporisée à l'heure	Quantités d'eau vaporisée par kilogramme de combustible	Surfaces de chauffe des tubes en contact avec les gaz	Quantités d'eau vaporisée à l'heure	Quantités d'eau vaporisée par kilogramme de combustible
mètres carrés					
141,19	4.724	9,78	176	94	119
141,19	6.014	9,70	176	97	122
165,24	4.635	9,90	176	88	113
165,24	5.910	9,85	176	91	116

TABLE DES MATIÈRES

Pages

But de l'étude 120

PREMIÈRE PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR UNE CHAUDIÈRE D'ESSAI A TUBES LISSES.

I. — *Appareils d'expériences* 122
Chaudière 122
Appareils de mesure de l'eau d'alimentation 125
Pesage du combustible 126
Appareils de mesure du tirage 126
Appareils de mesure de la température des gaz dans la boîte à fumée 126
Appareils pour la détermination de la composition des gaz dans la boîte à fumée 129
Appareil pour la détermination de l'eau entraînée par la vapeur. 133
Appareils pour mesurer la quantité d'escarbilles produites . . . 137
Appareils pour l'analyse et la détermination du pouvoir calorifique du combustible 137

II. — *Programme et marche des expériences* 139
Programme des expériences 139
Conditions de chargement du combustible 141
Marche d'une expérience 144
Relevés divers 146

III. — *Calcul des résultats* 148
Définitions et notations 148
Données de physique adoptées dans les calculs 149
Calcul de la chaleur totale produite par 1 kilogramme de combustible brût : C_1 150
Calcul de la chaleur emmagasinée dans la vapeur sèche produite par 1 kilogramme de combustible brut : C_2 153
Calcul de la chaleur emmagasinée dans l'eau entraînée par la vapeur correspondant à 1 kilogramme de combustible brut : C'_2. 154
Calcul de la chaleur emportée par les gaz de la combustion, correspondant à 1 kilogramme de combustible brut : C_3 . . . 154

Pages

Calcul du volume d'air en mètres cubes dépensé par kilogramme de combustible brut : V 157

IV. — *Résultats obtenus* 157
Courbes et tableaux 157
Combustible brut brûlé par heure (activité de la combustion) : P. 159
Eau vaporisée par heure (puissance) : E 160
Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut (rendement économique) : $\frac{E}{P}$ 162
Quantité d'escarbilles produites pour 1.000 kilogrammes de combustible brut 164
Degré d'imperfection de la combustion 165
Volume d'air, en mètres cubes, dépensé par kilogramme de combustible brut : V 166
Température des gaz dans la boîte à fumée 167
Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil de combustion : $100\,\frac{C_1}{C}$ 168
Coefficient économique de la chaudière considérée comme appareil d'échange de chaleur : $100\,\frac{C_2}{C_1}$ 170
Proportion de chaleur entraînée par les gaz de la combustion : $100\,\frac{C_3}{C_1}$ 171
Proportion de chaleur perdue par conductibilité et rayonnement : $100\,\frac{C_4}{C_1}$ 172
Répartition de la chaleur totale 173

V. — *Expériences complémentaires* 174
Expériences avec grille plus ou moins réduite 174
Expériences montrant l'influence de la réduction du nombre des tubes 175

VI. — *Résumé* 176
Influence de la nature du foyer 176
Influence de la longueur des tubes 177
Influence du tirage 177
Influence de la surface de grille et du nombre de tubes 178

VII. *Conclusions* 179
Foyer 179
Longueur des tubes 179
Tirage 180
Nombre de tubes 180

DEUXIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LES CHAUDIÈRES, A TUBES LISSES, DES LOCOMOTIVES CONSTRUITES EN 1889, A LA SUITE DES EXPÉRIENCES RELATÉES DANS LA PREMIÈRE PARTIE.

Pages

I. — *Résultats des expériences*. 182

II. — *Comparaison, à égalité de puissance, des machines de mêmes types munies de tubes de diamètres différents*. 183

III. — *Comparaison des résultats obtenus dans ces expériences et de ceux qui résultent de celles de la première partie*. 184

TROISIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR DES CHAUDIÈRES MUNIES DE TUBES A AILETTES.

I. — *Principe des tubes à ailettes*. 186

II. — *Expériences comparatives sur des locomotives en service, l'une munie de tubes à ailettes et les autres de tubes lisses* . . . 187

III. — *Expériences sur une chaudière d'essai munie de tubes en laiton à ailettes* 188

But de ces expériences. 188

Appareils d'expériences. 189

Programme des expériences 190

Marche d'une expérience. 191

Résultats obtenus 191

IV. — *Comparaison des tubes lisses et des tubes à ailettes*. 199

Comparaison, à égalité de tirage, des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes, les tubes ayant la longueur qui donne, pour chaque espèce, le maximum de puissance 200

Comparaison des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes à égalité de surface de chauffe intérieure des tubes et de puissance. 203

Comparaison des tubes en laiton lisses et des tubes en laiton à ailettes de faible longueur, à égalité de longueur et de diamètre de tubes et à égalité de tirage. 205

V. — *Conclusions sur l'emploi des tubes à ailettes* 206

APPLICATIONS DIVERSES 208

TABLEAUX. 210

BULLETIN

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ALLEMAGNE ET DU LUXEMBOURG POUR 1893 (*).

SUBSTANCES MINÉRALES	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Combustibles minéraux. { Houille	73.908.999	613.113.698	8,29
{ Lignite	21.567.218	67.653.708	3,13
Asphalte	47.238	439.088	9,29
Pétrole	13.974	963.009	68,91
Graphite	3.140	255.889	81,49
Minerai de fer	8.105.553	41.281.611	5,09
— de zinc	788.394	17.584.881	22,30
— de cuivre	584.875	22.290.960	38,11
— de plomb	168.414	17.397.327	103,30
— d'étain	69	92.931	1.346,83
— de mercure et antimoine	16	492	30,75
— de cobalt, nickel et bismuth	4.370	931.898	213,25
— d'urane et wolfram	44	53.030	1.205,23
— de manganèse	40.788	605.100	14,83
— d'arsenic	2.756	124.787	45,27
— d'or et d'argent	18.778	3.807.743	202,77
Pyrites de fer	121.334	1.079.581	8,90
Sel	1.174.065	20.812.700	17,72
Minerai de fer (Luxembourg)	3.351.938	7.673.083	2,29

MÉTAUX	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Fonte	4.403.827	239.229.847	54,32
Fer et acier puddlés	1.076.267	164.170.415	152,53
Fer et acier fondus	2.171.138	338.189.704	155,76
Zinc	142.956	58.162.219	406,85
Cuivre	24.011	28.833.741	1.200,85
Plomb	94.659	22.678.016	239,80
Etain	951	1.717.745	1.806,25
Antimoine et manganèse	407	317.270	779,53
Nickel, cobalt, bismuth	1.402	8.380.065	5.977,22
	kilogr.		
Or	3.074	10.519.965	3.422,24
Argent	449.333	57.889.630	128,83
	tonnes		
Fonte (Luxembourg)	558.289	23.662.179	42,38

(*Extrait de la* Statistik des deutschen Reichs, Jahrgang 1894, Vierteljahrshefte, Zweites Heft.)

(*) Résultats provisoires.

PRODUCTION MINÉRALE ET MÉTALLURGIQUE DES ILES-BRITANNIQUES PENDANT L'ANNÉE 1893.

DÉSIGNATION des SUBSTANCES EXTRAITES	QUANTITÉS	VALEUR sur les exploitations	PRIX moyen
1° *Substances minérales.*			
	tonnes	francs	fr. c.
Houille	166.955.008	1.407.523.338	8,43
Lignite	3.316	20.580	6,21
Schistes bitumineux	1.987.824	12.335.859	6,21
Pétrole	264	12.307	46,62
Minerai de fer	11.382.732	71.320.821	6,27
Minerai de fer des marais	10.919	67.741	6,21
Pyrites de fer	16.090	183.903	11,43
Minerai de plomb	41.462	7.075.194	170,64
Minerai de zinc	24.134	2.049.629	84,93
Minerai de cuivre	5.431	326.876	60,19
Cuivre de cément	234	55.736	238,19
Minerai d'or	4.561	193.110	42,34
Minerai d'étain	13.908	16.066.477	1.155,20
Wolfram	22	10.592	480,55
Minerai d'uranium	25	12.610	504,40
Minerai de manganèse	1.357	19.218	14,16
Ocre, terre d'ombre	10.703	350.054	31,71
Arsenic	6.072	1.455.013	240,00
Pyrites arsenicales	3.085	74.349	24,10
Spath fluor	218	4.061	18,63
Gypse	145.782	1.497.286	10,23
Barytine	22.700	639.655	28,18
Sulfate de strontiane	5.905	58.637	9,93
Minerai d'aluminium (bauxite)	8.780	104.663	11,92
Schistes alumineux	2.149	6.658	3,10
Argiles (non compris l'argile commune)	3.114 251	20.615.307	6,62
Ardoises	446.017	27.934.328	62,63
Pierres, etc.	»	196.058.262	»
Phosphate de chaux	3.353	145.545	43,41
Sel	1.954.813	18.542.299	9,49
Valeur totale des substances minérales	»	1.784.760.158	»
2° *Métaux.*			
Fonte	7.088.622	400.958.800	56,56
Plomb	38.185	9.355.325	245,00
Zinc	23.332	10.476.100	449,00
Cuivre	70.927	84.515.000	1.192,00
Etain	10.973	24.217.500	2.207,00
	kilogr.		
Argent (en kilogrammes)	16.988	2.045.000	120,40
Or (en kilogrammes)	120	365.300	3.044,00
Valeur totale des métaux	»	531.963.025	»

Production de la houille par comté.

COMTÉS	QUANTITÉS	VALEUR sur les exploitations
Angleterre.	tonnes	francs
Breconshire	197.324	1.712.110
Carmarthenshire	738.496	6.186.895
Cheshire	576.115	5.720.325
Cumberland	1.844.601	14.118.030
Denbighshire	1.407.047	11.933.347
Derbyshire	8.008.903	74.551.379
Devonshire	5	50
Durham	31.312.175	215.364.954
Flintshire	834.569	7.078.094
Glamorganshire	22.184.798	213.076.794
Gloucestershire	1.116.467	13.625.988
Lancashire	16.163.742	150.952.368
Leicestershire	1.223.224	11.639.509
Monmouthshire	7.426.154	62.982.209
Northumberland	9.258.593	68.468.542
Nottinghamshire	5.414.099	57.117.172
Pembrokeshire	90.443	1.234.771
Shropshire	646.814	6.422.208
Somersetshire	584.677	6.651.952
Staffordshire	13.219.956	125.341.584
Warwickshire	1.560.570	15.817.934
Westmoreland	1.131	9.836
Worcestershire	935.981	7.454.149
Yorkshire	16.211.110	144.194.543
Totaux	140.956.994	1.221.654.833
Écosse.		
Argyle et Dumfries	105.436	741.544
Ayrshire	3.379.149	22.717.520
Clackmannan	416.975	3.363.919
Dumbarton	444.542	3.586.309
Edinburgh	886.592	6.602.319
Fife	3.677.442	29.667.471
Haddington	338.431	2.520.235
Kinross, Peebles et Sutherland	6.398	51.625
Lanark	14.149.269	96.317.147
Linlithgow	743.113	5.533.848
Renfrew	81.533	522.836
Stirling	1.661.765	13.064.717
Total	25.890.645	184.689.490
Irlande.		
Connaught	9.015	87.337
Leinster	81.050	936.040
Munster	13.682	126.731
Ulster	3.622	28.927
Totaux	107.369	1.179.035
Totaux généraux	166.955.008 (*)	1.407.523.358

(*) Production de la houille seulement, non compris 3.316 tonnes de lignite, d'une valeur de 20.580 francs, extraites dans le Devonshire (Angleterre).

(Extrait du *Mineral Statistics of the United Kingdom of Great Britain and Ireland.*)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DU CANADA POUR 1893.

1° *Métaux.*	PRODUCTION	VALEUR
	tonn. métr.	francs
Fonte	56.842	4.093.666
Cuivre	4.130	4.536.975
Plomb	1.084	419.559
Zinc	6	2.435
Nickel	2.028	10.755.498
Or (en kilogrammes)	1.605kil	4.803.124
Argent (en kilogrammes)	12.907	1.664.971
Platine	»	9.324
Valeur totale des métaux		26.285.552
2° *Matières minérales.*		
	tonn. métr.	
Charbon	3.778.682	43.627.302
Coke	164.378	316.384
Pétrole	102.195	4.321.850
Gaz naturel	»	1.897.087
Minerai de fer (*)	126.697	1.543.733
Pyrites	59.478	909.743
Minerai de manganèse	232	74.892
Ocres	1.087	91.738
Gypse	195.649	1.016.057
Phosphates de chaux	8.329	367.480
Castine	28.241	142.518
Pierres à bâtir	»	3.159.800
Granite	22.881	488.956
Marbre	599	26.418
Sables et graviers	334.382	630.898
Chaux	»	2.279.200
Ciment	»	1.072.384
Ardoise	7.226	470.473
Pierres à meules	4.674	198.803
Feldspath	584	23.440
Amiante	6.566	1.625.515
Mica	»	360.642
Pierres précieuses	»	7.770
Sel	63.321	1.014.897
Eaux minérales (litres)	2.227.080 lit	561.237
Total		66.229.247
Matières minérales non dénommées, principalement matériaux de construction, briques, tuiles, poteries, etc		11.293.866
Valeur totale des matières minérales		77.523.113

(*) Sur cette quantité 126.038 tonnes ont été converties en 56.842 tonnes de fonte, qui figurent parmi les métaux.

(Extrait de l'*Engineering and Mining Journal.*)

ÉTUDE

SUR LE SOULÈVEMENT LENT ACTUEL

DE LA SCANDINAVIE

Par M. A. BADOUREAU, Ingénieur des mines (*)

ECOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

§ I. INTRODUCTION.

Rien dans la nature n'est immobile. Les terres, dites *fermes*, ont :

1° Des mouvements lents dus :

a) Au refroidissement de la terre et à la contraction qui en résulte ;

b) A la variation de température, et par conséquent de dimensions, de leurs diverses parties ;

c) Au tassement de leurs différents morceaux disjoints ;

d) Au poids de la glace qui les recouvre parfois.

2° Des mouvements brusques occasionnés par l'introduction, l'échauffement et l'évaporation de l'eau de la mer dans les entrailles de la terre.

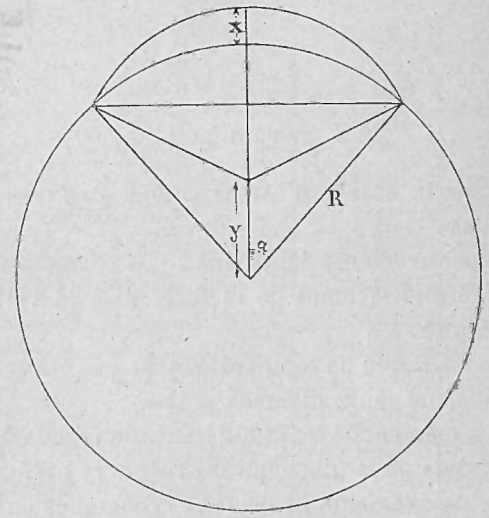
3° Des vibrations microsismiques produites par le frottement, sur la base de la croûte, de la masse ignée interne, mue elle-même par l'attraction du soleil, de la lune et des autres astres.

Ainsi qu'en a fait la remarque, en 1889, au huitième Congrès des géographes allemands, M. de Drygalski :

(*) Le résumé de cette étude a été présenté le 27 novembre 1893 à l'*Académie des sciences*.

« le principe des changements de température de l'écorce terrestre, par suite des modifications subies par les conditions thermiques de sa surface extérieure, est susceptible d'applications très variées. »

Par exemple, ce fait influe notablement, par suite des dilatations et des contractions résultantes, sur la forme même de la surface de la terre. Pour s'en convaincre, il suffit de se livrer au petit calcul suivant, sensiblement exact.



Considérons, par exemple, un arc en granite de l'écorce terrestre long de 1.500 kilomètres ; échauffons-le de 1°, il s'allongera d'environ 12 mètres. Négligeons les failles plus ou moins larges qui traversent sa masse et ses bords ; admettons que sa masse soit absolument continue, que ses bords soient absolument fixes, et qu'il reste circulaire. Appelons :

2α l'angle au centre qui le sous-tend ;
x le surhaussement de son milieu ;
y le déplacement de son centre.

On a évidemment :

$$2\pi R = 40.000.000;$$
$$2\alpha R = 1.500.000;$$
$$d(2\alpha R) = 12;$$
$$d(R\sin\alpha) = 0;$$
$$d(R\cos\alpha) = -y;$$
$$dR = x - y.$$

On en tire :

$$\alpha = \frac{3}{80}$$
$$\alpha\, dR + R\, d\alpha = 6.$$

et approximativement :

$$\left(\alpha - \frac{\alpha^3}{6}\right) dR + R\left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right) d\alpha = 0$$
$$\left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right) dR - R\,\alpha\, d\alpha = -y,$$

d'où :

$$dR = -\frac{18}{\alpha^3} = -11.009$$
$$x = \frac{9}{\alpha} = 76.$$

En conséquence, le rayon diminue de 11 kilomètres et le milieu se surhausse de 76 mètres.

Chacun sait, d'autre part, que des parties plus ou moins grandes de l'écorce solide de la terre sont détachées et entraînées par l'action de l'eau en mouvement et de la pesanteur. Le plus récent exemple célèbre est l'éboulement survenu à Vaerdalen (Norvège), le 20 mai 1893 (*).

Les phénomènes suivants troublent l'horizontalité du niveau de la mer et le repos de sa masse : différence de température et de salure de ses diverses parties, attraction exercée par la lune, par le soleil, par les autres astres et par les continents voisins, évaporation, congé-

(*) Voir le résumé des études de M. Brögger à ce sujet dans le *Petit Temps* du 13 mars 1894.

lation, réception des pluies, des fleuves et des icebergs, dégradation des continents existants, formation de nouveaux continents, entraînement par le vent, innombrables et incessantes réactions physiologiques, mouvement des animaux, etc., etc.

Le niveau moyen de la mer en un point déterminé est altéré par les causes suivantes : refroidissement et contraction de la terre, mouvements du fond sous-marin, variation de la vitesse de rotation de la terre, mouvement relatif à la terre de son axe de rotation...

Les variations subies par la quantité d'eau emprisonnée dans les glaciers continentaux modifient le niveau moyen de la mer en tous les points du globe.

Les phénomènes géologiques qui augmentent ou diminuent la masse d'un continent : formation des montagnes, éruptions volcaniques, dépôts de glace, etc., altèrent, d'une façon plus ou moins sensible, l'attraction exercée par le continent sur l'eau et par suite le niveau moyen de la mer dans le voisinage du continent.

Quand il s'agit d'une mer presque fermée, comme la Baltique, son niveau moyen dépend encore des variations :

1° Du volume } par suite des changements de
2° De l'évaporation } la température ;
3° De l'apport des eaux fluviales ;
4° De la section du débouché.

M. Brückner conclut de la sorte son étude sur les oscillations des lacs et des mers : « Il existe des soulèvements et des abaissements séculaires des côtes, et leur effet interfère avec les oscillations séculaires du niveau de la mer, causées par les événements climatériques. »

De même que les astronomes regardent comme constante la durée du jour sidéral, bien que la contraction de la terre tende à la raccourcir et bien que le frottement des marées tende à l'allonger, la plupart des géologues

considèrent comme constant le niveau moyen de la mer en un point donné, et lui rapportent la position des terres voisines pour constater si elles s'enfoncent ou si elles émergent.

« Les cordons littoraux abandonnés loin de la limite atteinte par la mer, les bancs de coquillages relégués dans l'intéreur, les baies comblées par les alluvions, les estuaires modifiés par l'amoncellement des vases, les constructions élevées par la main des hommes près de la mer et actuellement éloignées, des passages où l'eau devient moins profonde, sont autant d'indications favorables à l'idée de soulèvement. La formation d'estuaires graduellement augmentés, la présence de bois fossiles dans le sable des plages, les traces de constructions submergées, l'inondation des marais littoraux seraient, d'autre part, des signes de submersion (*). »

Le mouvement du sol relativement au niveau moyen de la mer est particulièrement intense en Scandinavie pour des raisons que nous exposerons dans la présente notice. On l'y observe d'ailleurs avec une grande facilité grâce à l'énorme développement des côtes. Depuis près de deux siècles, il y a été l'objet de nombreux travaux et de controverses intéressantes entre d'éminents savants. Comme le dit très justement M. de Drygalski, « la Scandinavie est la terre classique des changements des lignes de côtes ».

Nous y avons été faire une courte promenade pendant l'été de 1892 et la présente notice fera connaître l'état actuel de la question. Nous insisterons, comme de juste, un peu plus sur les quelques faits que nous avons eu l'occasion de constater personnellement.

Nous avons eu l'honneur de consulter à ce sujet :

(*) Jules Girard. *Recherches sur l'instabilité des continents et du niveau des mers*, 1886.

MM. de Lapparent, Michel Lévy, Marcel Bertrand, Lallemand, de Launay, ingénieurs du Corps des mines; MM. Paul Fischer, Jules de Guerne, Emmanuel de Margerie, Charles Rabot, Jules Richard, à Paris; M. Charles-Edouard Guillaume, à Sèvres; MM. Hjalmar Lundbohm, Smitt, Otto Torell, à Stockholm; M. Gerard de Geer, à Ed (Suède), et M. Hans Reusch, à Kristiania.

Nous les prions de vouloir bien agréer l'hommage de nos plus vifs remerciements.

Malheureusement beaucoup d'autres savants, que nous espérions rencontrer à Stockholm ou à Kristiania, étaient en villégiature sur les côtes norvégiennes.

Le bel ouvrage de M. Michael Sars, publié en 1864 dans le recueil de l'université de Kristiania, *Om de i Norge forekommende fossile dyrelevninger fra qvartär perioden*, est classique pour la paléontologie glaciaire et post-glaciaire de la Norvège.

Les ouvrages plus récents suivants nous ont été également d'un grand secours :

Bidrag til Kundskaben om gamle strandljnier i Norge (Nyt magazin for Naturvidenskab), par Mohn, 1876.

Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten, par Hahn, 1879.

Ueber ehemalige Strandlinien in anstehendem Fels in Norwegen, par Richard Lehmann, 1879.

Zur Strandlinien Frage, par Richard Lehmann, 1880.

Terrassen und alte Strandlinien avec cartes et profils, par Karl Pettersen (traduction allemande, par Richard Lehmann, 1880).

Neue Beiträge zur Kenntniss der ehemaligen Strandlinien in anstehenden Gestein in Norwegen, par Richard Lehmann, 1881.

Recherches sur l'instabilité des continents et du niveau des mers, par Jules Girard, 1886.

Om Strandliniens förskjutning å sveriges Kuster, par Leonard Holmström, 1887.

Die Geoiddeformationen der Eiszeit, par Erich von Drygalski (Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, 1887).

Die Reliktenseen, par Rudolf Credner (Petermanns Mittheilungen-Ergänzungshefte, 1887-1888).

Das Antlitz der Erde, par Eduard Suess, 1888.

Om den äldre baltiska isströmen i södra Sverige, par Hjalmar Lundbohm, 1888.

Die Schwankungen der Wasserstandes im Kaspischen Meer, dem Schwarzen Meer und der Ostsee, in ihrer Beziehung zur Witterung, par Eduard Brückner, 1888.

In anstehenden Fels eingeschnitten Strandlinien, par Karl Pettersen, 1889.

Ueber Bewegungen der Kontinente zur Eiszeit und ihren Zusammenhang mit den Wärmeschwankungen in der Erdrinde, par Erich von Drygalski (Verhandlungen des achten deutschen Geographentags, 1889).

Om isdelarens läge under Skandinaviens begge nedinsingar, par Gerard de Geer, 1889.

Strandlinien und Terrassen, par Sandler (Petermanns Mittheilungen, 1890).

Om Skandinaviens nivå förändringar under qvartär perioden, par Gerard de Geer, 1890.

Klima-Schwankungen seit 1700, par Eduard Brückner, 1890.

Ueber Schwankungen der Seen und Meere, par Eduard Brückner, 1891.

Quaternary changes of level in Scandinavia, par Gerard de Geer, 1891.

Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, par Ackermann, 1891.

Fra en reise i Finmarken, par Hans Reusch, 1891.

Au moment où notre travail était presque achevé,

nous l'avons remanié à l'aide de la troisième édition, parue en 1893, du *Traité de Géologie* de M. de Lapparent, et d'articles publiés par le même savant en 1892 dans le Correspondant sur *les anciens glaciers*, et en 1893 dans la Revue des questions scientifiques sur *les causes de l'ancienne extension des glaciers*. Ces deux articles développent, d'une façon lumineuse, beaucoup de points qu'aborde la présente étude.

Nous allons exposer de quelle façon :

1° L'histoire,

2° Des expériences directes,

3° L'examen de la faune actuelle des lacs scandinaves,

4° L'examen des formations quaternaires de la Scandinavie,

démontrent que le sol de la péninsule s'exhausse actuellement en totalité, ou au moins pour sa majeure partie, par rapport au niveau de la mer.

§ II. CONSTATATIONS HISTORIQUES.

Les quatre phénomènes suivants, observés pendant la période historique, peuvent recevoir, entre autres explications, celle d'un relèvement ou d'un affaissement du continent par rapport au niveau de la mer :

1° Des villes, fondées près de la mer, sont reléguées dans l'intérieur des terres. Telle Luleå, fondée par Gustave Adolphe, au fond du golfe de Bothnie ;

2° Inversement, des villes voisines de la mer en Scanie (Ystad, Trelleborg, Malmö, etc.) ou en Seeland, sont partiellement submergées. Depuis Linné, Malmö s'est abaissée de 1^m,50 et la côte a perdu une bande de 30 mètres de largeur ;

3° Entre Ystad et Falsterbœ, la mer recouvre aujourd'hui des couches de tourbe épaisses de 1^m,50 à 2 mètres,

qui contiennent des coquilles d'eau douce et des instruments en silex ;

4° Le chenal de Stœstsund, près du cap Kuno, ne pourrait plus aujourd'hui recevoir les bateaux qui y circulaient autrefois. De même, Landskrona avait, en 1771, 6 pieds d'eau dans son port et, en 1817, à peine 5.

Ces faits sont les premiers qui aient attiré l'attention des savants sur le mouvement scandinave, mais ils peuvent également bien s'expliquer par des affouillements ou par des sédimentations.

On peut en rapprocher la croyance, relatée par M. Reusch, des habitants du Finmark, au soulèvement notable de leur pays depuis un siècle. Un boulon en fer, scellé dans le rocher à Bosekop sur l'Altenfjord, et situé aujourd'hui à 1^m,10 au-dessus des herbes marines, a été planté, dit-on, en 1844 à leur niveau (*).

Il serait superflu d'insister sur le caractère vague de ce document.

§ III. EXPÉRIENCES DIRECTES.

En maint endroit, des repères, tracés de main d'homme sur des rochers à une hauteur déterminée au-dessus du niveau moyen de la mer, ont été retrouvés, quelques années plus tard, généralement surélevés.

On trouve dans l'ouvrage de M. Holmström, *Om strandliniens förskjutning å sveriges kuster*, une nomenclature, avec description et discussion, de 99 marques gravées, depuis 1730, sur les côtes de la Baltique (87 en Suède et 12 en Finlande), et réobservées ultérieurement à plusieurs reprises.

(*) La photographie de ce rocher avec le boulon est reproduite sur la *fig.* 10 de la Pl. XIV, d'après M. Reusch.

On y trouve aussi un tableau graphique du mouvement relatif de la mer et de ces marques.

D'après M. Holmström, la mer a, en général, baissé par rapport au continent (d'après nous, le continent s'est, en général, élevé par rapport à la mer) avec une vitesse qui est à la fois fonction du lieu et du temps.

Cette vitesse a rarement dépassé $0^m,02$ par an; en général, elle a diminué depuis 1730 jusqu'à nos jours.

27 marques faites en Norvège en 1839, principalement près du cap Lindesnaes et vérifiées en 1865, ont démontré le très faible soulèvement de cette région par rapport à la mer.

Toutes ces expériences sont plus ou moins contestables, par suite de la difficulté d'avoir en un point exactement le niveau moyen de la mer.

Quoiqu'il en soit, l'inégalité des mouvements observés sur les divers rivages, nous paraît prouver qu'ils leur appartiennent en propre, au moins pour une grande partie.

§ IV. FAUNE DES LACS SCANDINAVES.

L'examen de la faune actuelle des lacs suédois et norvégiens apporte aussi son concours à la question qui nous occupe.

M. Sven Lovén a publié, en 1861 et 1862, dans les *öfversigt af kongl. vetenskaps akademiens förhandlingar*, et en 1863 dans les *förhandlingar vid de skandinaviska natur forskarnes inonde möte i Stockholm*, divers mémoires d'où il résulte que les lacs de Suède possèdent, à côté d'une faune d'eau douce d'importation récente, des espèces qui doivent être considérées comme des *résidus d'une ancienne faune d'eau salée et froide, adaptée progressivement à la vie dans les eaux douces et tempérées.*

Les très importants articles publiés en 1887 et 1888 par M. Rudolf Credner, sous ce titre, *Die Reliktenseen*,

dans les cahiers complémentaires des Petermanns Mittheilungen, contiennent l'inventaire de la faune résiduelle de chacun des lacs de Suède, de Norvège et de Finlande.

Considérée dans son ensemble, cette faune comprend les espèces suivantes :

MAMMIFÈRES. .	*Phoca annellata* Nilsson (*).
POISSONS. . .	*Cottus quadricornis* Linné.
	Trutta Salar Malmgren.
	Trutta lacustris Linné.
CRUSTACÉS. .	*Mysis relicta* Lovén.
	Pontoporeia affinis Lindström.
	Pallasea cancelloïdes Gerstfeldt.
	Gammaracanthus loricatus Sabine.
	Idotea entomon Linné.
	Cythere lacustris Sars.
	Limnocalanus macrurus Sars.

De même, dans les golfes de Bothnie et de Finlande, on trouve divers poissons propres aux mers arctiques et absents de la Baltique méridionale : *Clupea membras* Linné(**), hareng de taille réduite, très voisin de celui de la mer Blanche et des rivages de l'Islande, *Cottus quadricornis* Linné, déjà nommé comme peuplant les lacs Scandinaves et Finlandais, *Liparis vulgaris* Fleming et *Stichæus islandicus* Cuvier et Valenciennes.

On trouve des indications fort nettes sur les poissons de la Baltique dans l'ouvrage de MM. Möbius et Henicke, *Die Fische der Ostsee* (1883).

On tire de ces faits cette conclusion probable que les lacs de Scandinavie, les golfes de Bothnie et de Finlande et les lacs de Finlande, après avoir communiqué avec la mer Blanche, en ont été séparés par un soulèvement général de la région.

(*) Confiné dans les lacs de Finlande.
(**) En Suédois, *strömling*.

Toutefois, nous devons faire à ce sujet les réserves suivantes :

1° Il n'est pas absolument impossible que les espèces, considérées comme résiduelles, aient été importées accidentellement dans les lacs isolés de la mer, ou dans les golfes de Bothnie et de Finlande en passant par la Baltique ;

2° Bien que les méduses, et surtout celles d'hydraires, soient généralement des animaux marins, on en a trouvé quatre dans des eaux douces :

Limnocodium Sowerbyi (8 millimètres de diamètre), découvert à Londres dans une serre chaude de Regents park, parmi des racines de Nymphéacées et de Pontédériacées (*), avec lesquelles il a probablement été importé ;

Halmonises lacustris (2^{mm},5 de diamètre), découvert par le docteur von Kennel dans une lagune de l'île de la Trinité ;

Limnocnida Tanganyikai (22 millimètres de diamètre), découvert par M. Böhm dans le lac Tanganyika, dont le niveau d'eau est à 820 mètres d'altitude (**) ;

? (20 à 25 millimètres de diamètre), méduse d'eau douce trouvée en abondance en 1889, par M. Tautain, dans le Haut-Niger près Bamakou, et malheureusement non rapportée en Europe (**) ;

3° M. Jules Richard a découvert dans les eaux du lac du Bois de Boulogne un petit crustacé aveugle, *Bradya Edwardsi*, appartenant à un genre regardé comme essentiellement marin, et ayant néanmoins comme habitat, la couche d'eau douce souterraine qui alimente le puits artésien de Passy, et par suite le lac du Bois de Boulogne (*) ;

(*) On sait que ces plantes vivent dans des eaux douces, tranquilles ou à peu près, de l'Amérique tropicale.

(**) Voir les descriptions de ces deux espèces par M. Jules de Guerne dans la *Nature* du 24 juin et du 16 décembre 1893. Déjà, en janvier 1881, le même auteur avait décrit, dans le *Journal de micrographie*, les méduses d'eau douce et d'eau saumâtre alors connues. Il a publié, en avril 1892, dans les comptes rendus de la *Société de biologie*, un article intéressant sur l'histoire, la distribution et l'origine des Nemertiens d'eau douce.

4° M. Briquel a constaté, en mai 1879, la présence d'un crustacé marin, *Artemia salina*, dans un étang salé voisin de la saline de Saint-Laurent d'Einville près Lunéville. Cet étang avait été formé artificiellement avec les eaux d'une poche souterraine, et il s'est progressivement dessalé par l'addition d'eaux douces d'infiltration et de pluie ; des œufs très résistants d'*Artemia salina* y ont été apportés par des oiseaux, qui les avaient peut-être pris dans les étangs de Dieuze ou de Marsal (seules localités de la Lorraine où l'*Artemia salina* ait été reconnue), cet animal s'y est développé en abondance, pendant que la salure de l'étang a été satisfaisante pour lui ;

5° On trouve encore vivant dans les chotts algériens le *Melania melanopsis*, mollusque d'eau douce, alors que le *Cardium edule*, mollusque marin, a été tué par l'excès de la salure. Le premier est *euryhalin*, c'est-à-dire accommodable à des salures variées, et le second est *sténhalin*, c'est-à-dire confiné dans des limites étroites de salure (**), etc., etc.

Quoi qu'il en soit de ces réserves, et bien que la théorie des faunes résiduelles explique difficilement certains faits (*Limnocnida Tanganyikai*) et soit impuissante à en expliquer certains autres (*Bradya Edwardsi* et *Artemia salina*), elle est admise en principe par les zoologistes.

Elle a été notamment développée dans les ouvrages suivants :

(*) Société zoologique de France, 1890.

(**) On sait que les animaux *Eurythermes* sont accommodables à des températures variées, et les animaux *Sténothermes* confinés dans des limites étroites de température.

Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere, par Semper (Leipzig, 1880) ;

Altra serie di ricerche e studi sulla fauna pelagica dei laghi italiani, par Pavesi (Atti della Soc. veneto-trentina di Sc. natur., vol. VIII, 1883) ;

The origin of freshwater faunas (Proceedings of the royal irish academy, 1884).

M. Jules de Guerne a résumé la question (*) dans les termes suivants que nous croyons devoir citer intégralement :

« On peut, d'une manière générale, diviser en trois catégories les animaux qui entrent dans la composition d'une faune lacustre, la première suffisant à la rigueur, la troisième faisant défaut daus la plupart des cas.

« 1° Les êtres qui peuplent depuis longtemps les eaux du voisinage. Ils forment d'abord la faune littorale du lac, et pourront fournir par différenciation ultérieure un grand nombre d'espèces à la faune profonde et à la faune pélagique. Des types particuliers pourront, en outre, pénétrer dans les lacs par les courants souterrains. Ils resteront cantonnés dans les profondeurs.

« 2° Les êtres apportés en général par les oiseaux, d'une région plus ou moins éloignée, et pris à l'état d'œufs dans des eaux saumâtres ou même salées (*Cladocères*, *Rotifères*, etc.). Ces êtres, susceptibles de s'adapter à de nouvelles conditions d'existence, fourniront des formes littorales et pélagiques.

« 3° Enfin, et l'intervention de ce dernier élément dépend avant tout de l'origine même du lac, des animaux vraiment marins pourront se trouver enfermés dans un bassin de nouvelle formation. Ils s'y répandront principalement dans les eaux profondes, non sans y subir des

(*) Sur les genres *Ectinosoma* et *Podon* (Soc. zoologique de France, 1887.)

modifications parfois très grandes qui les éloignent peu à peu de leurs ancêtres ».

Il paraît certain que des animaux de cette troisième catégorie peuplent les lacs de Finlande et de Scandinavie.

Il semble en résulter qu'un ou deux grands fjords prolongeant la mer Blanche se soient jadis avancés jusqu'au lac Wener en passant par les lacs Onéga et Ladoga, en traversant la mer Baltique et en passant par les lacs Maelar et Wetter.

Telle est, notamment, l'opinion de M. Smitt et de M. Rabot.

§ V. MODE DE L'ADOUCISSEMENT DES LACS SCANDINAVES.

L'eau des lacs scandinaves et finnois a donc probablement été autrefois salée.

Actuellement, parmi eux le Maelar seul est un peu salé, et cette salure peut d'ailleurs avoir la cause suivante : bien que son niveau soit supérieur de $0^m,74$ à celui de la Baltique, ce qui lui permet de s'y déverser au nord et au sud de la cité (*staden*) de Stockholm, parfois, sous l'action des vents d'est, la Baltique l'envahit à son tour.

La façon dont tous ces lacs ont perdu leur sel est quelque peu problématique.

Il nous paraît probable que cette opération s'est effectuée, pendant que les lacs communiquaient encore avec la mer, sous la triple influence :

1° De la réception des eaux douces de pluie, de rivière ou d'infiltration ;

2° De la formation annuelle d'une croûte de glace douce ;

3° De l'évacuation de l'eau profonde dans la mer.

C'est de cette façon que se dessale actuellement l'ex-

trémité continentale de tous les fjords de Norvège ; on y trouve à la surface une faune lacustre et, en profondeur, une faune marine arctique. M. Oscar Sars a signalé ce fait en 1879, dans un mémoire *Nogle bemaerkninger om den marine faunas character ved norges nordlige kyster*, publié par les Tromsö museums aarshefter (*).

L'eau des différentes mers est très diversement salée. Un kilogramme d'eau donne, par évaporation, le résidu suivant, d'après un article publié par M. Clouët, dans le *Dictionnaire de l'Industrie* :

Méditerranée à Marseille	41	grammes.
Mer d'Azof	12	—
Caspienne	6	—
Mer du Nord	34	—
Baltique	18	—
Mer Morte à la surface	27	—
Mer Morte à 300 mètres de profondeur	278	—

La Caspienne, déjà si douce, continue à se dessaler en formant sur ses bords des lacs salés (*limanes*), ou des dépôts salés (*solontchaks*).

Il ne serait pas absolument impossible que les lacs scandinaves, agissant comme d'énormes verres à réac-

(*) Il signale, près de Tromsö, une faune arctique comprenant :

Siphonodentalium vitreum.
Mölleria costulata.
Cylichna striata.
Philine lima.
Yoldia limatula.
Nucula expansa.
Lyonsia arenosa.
Diastylis Goodseri.

D'après lui, la limite de la faune arctique est une ligne sinueuse qui passe au cap Nord, à Bodö, qui coupe la Baltique vers Stockholm, qui traverse la Russie, l'île Tarrakaï, les Aléoutiennes et l'Alaska, qui longe au sud la baie d'Hudson, et qui passe à New-York et en Islande pour revenir au cap Nord.

tion, eussent précipité leur chlore à l'état insoluble par suite de réactions chimiques. Cependant, il faut le reconnaître, il y a très peu de chlorures insolubles, on ne connaît aucun dépôt de cette nature au fond ou sur les bords des lacs scandinaves ou finnois, et il faudrait, pour que cette dernière hypothèse fût exacte, qu'il y en eût au fond ou sur les bords de chacun d'eux.

§ VI. HISTOIRE DE LA SCANDINAVIE PENDANT LA PÉRIODE QUATERNAIRE.

Avant d'aborder les constatations géologiques, qui sont la meilleure preuve du mouvement actuel de la Scandinavie par rapport à la mer, il nous paraît indispensable de tracer en quelques lignes l'histoire des principales phases par lesquelles a passé en dernier lieu le sol de cette péninsule.

La température moyenne d'un point déterminé quelconque de la surface de la terre, dépend de l'excentricité de l'orbite terrestre et de la position relative de son grand axe et de la ligne des équinoxes. M. Adhémar et M. James Croll ont signalé, avec beaucoup de sagacité, l'influence de la variation de ces deux éléments astronomiques.

Quoi qu'il en soit, elle paraît moins considérable que celle : 1° de l'altitude du lieu ; 2° de la nature des vents habituels qui le balaient ; 3° de la quantité de neige ou de glace permanente.

L'afflux annuel de la neige dépend : 1° de la température de l'atmosphère, ou plus exactement du temps pendant lequel elle est, chaque année, inférieure à 0° ; 2° et surtout de l'abondance de la vapeur d'eau amenée par les vents habituels. Un climat très sec est exclusif de la neige, quelle que soit la température.

La fonte annuelle de la neige dépend : 1° de son afflux,

ou plus exactement de la surface couverte par elle ; 2° de la température du lieu.

Selon la grandeur relative de l'afflux et de la fonte, la masse de la neige permanente et des glaciers qui en découlent augmente ou diminue.

La température d'un pays réagit à son tour sur son altitude, comme l'a remarqué M. de Drygalski.

Les vents résultent : 1° du mouvement de rotation de la terre ; 2° de la différence de température de ses diverses parties.

Les éléments suivants : altitude, vents habituels, température moyenne, neige permanente, sont donc inextricablement liés les uns aux autres.

Comme les continents, les océans ont passé par des alternatives de submersion et d'émersion. Peut-être, comme le suppose M. de Lapparent, rajeunissant le vieux mythe de l'Atlantide, a-t-il existé jadis à travers l'Atlantique septentrional un continent, dont la dislocation, contemporaine de la fin du miocène, n'a pas été sans influence sur le climat du Canada et de la Scandinavie.

Quoi qu'il en soit, c'est un fait bien connu, en ce qui concerne cette dernière, que ses glaciers, actuellement à peu près confinés autour des trois plateaux éternellement neigeux de Svartis, de Jöstedal et de Folgefond (qui ont respectivement 700, 900 et 280 kilomètres carrés de surface) et mourant à 15 mètres au moins au-dessus du niveau de la mer (*), ont atteint à deux (sinon à trois) reprises successives une énorme extension, en donnant à la Scandinavie assurément un aspect et peut-être une

(*) C'est la hauteur à laquelle meurt le superbe glacier de Fonddal qui descend du Svartis. M. Reclus en cite un qui s'avance jusqu'au bord de l'Altenfjord et un autre qui vient se baigner et se casser en icebergs dans les eaux du Jökelfjord. Le capitaine du bateau *Mira* que nous avons interrogé sur ces deux points n'en avait pas connaissance. Peut-être ces deux glaciers ont-ils reculé un peu depuis quelques années ?

température, analogues à ceux qu'a rencontrés M. Nansen, quand il a traversé en 1888 l'*inlandsis* (glace continentale) du Grönland méridional.

Une première fois, avant l'époque paléolithique, les glaciers scandinaves ont recouvert en totalité la Péninsule et la Baltique, et en grande partie la Russie, l'Allemagne et la mer du Nord. A ce moment, l'Océan Atlantique était gelé devant la Norvège et le Gulf Stream n'existait pas encore, peut-être parce que l'isthme de Panama n'était pas soulevé, peut-être parce qu'un isthme reliait l'Écosse à l'Islande et au Grönland.

Le niveau des neiges dépassait généralement celui des plus hautes montagnes scandinaves, principalement dans le nord, où les montagnes sont moins hautes et où les glaces et les neiges étaient plus épaisses.

La ligne du partage des glaces scandinaves se trouvait à l'est de la ligne actuelle du partage des eaux, mais à l'ouest du massif granitique. Il en résulte que les moraines orientales de cette époque sont pourvues de fragments de granite à l'exclusion des moraines occidentales.

M. Lundbohm donne une liste intéressante de blocs roulés et de stries gravées par l'ancien courant des glaces baltiques, la nature et l'origine des blocs, la nature des terrains sur lesquels ils se trouvent, la direction des stries (S. 25° à 74° E.), l'altitude (0 à 225 mètres), le nom de l'observateur et l'année de l'observation.

Après cette première période glaciaire, vint une phase chaude, au début de laquelle la mer envahit le Holstein et le sud de la Baltique, et y déposa l'argile colorée.

Vers la fin de l'époque paléolithique, la Scandinavie revêtit de nouveau un manteau de glace qui couvrit seulement son sol (moins la Scanie), la Baltique et la Finlande.

A ce moment, l'Atlantique était une mer libre devant

la Norvège ; les fjords actuels étaient déblayés et envahis par la glace ; la ligne de partage des glaces scandinaves était à l'est du granite, de sorte que les moraines déposées à ce moment à l'ouest de la péninsule en contiennent, à l'exclusion des moraines orientales.

Cette seconde invasion des glaces a balayé toutes ou presque toutes les lignes de rivage de la mer interglaciaire.

Elle est tellement voisine de l'époque actuelle que les pluies n'ont pas encore eu le temps d'effacer les traces du passage des glaces depuis leur départ. En maint endroit, le géologue se surprend à chercher vainement des yeux le glacier qui a strié ou moutonné telle roche ou amené telle moraine frontale ou latérale.

Après la fonte des glaces, les moraines ont limité des lacs qui se sont parfois changés en tourbières.

La Scandinavie a été de nouveau envahie par la mer qui y a déposé de l'argile blanche, contenant des coquilles, qu'on retrouve dans les kjökkenmöddings danois, et dont la nature démontre que l'eau était plus salée et plus chaude qu'aujourd'hui.

Sous l'influence des refroidissements et des réchauffements qu'elle a tour à tour subis, et qui ont été la cause ou l'effet de l'extension et de la disparition de ses glaciers, la Scandinavie s'est en même temps affaissée et relevée conformément à la loi de M. de Drygalski.

Elle continue de nos jours à se relever, mais elle n'a pas encore atteint le niveau maximum où elle s'est trouvée avant la seconde glaciation.

La profondeur des fjords, plus grande que celle de la mer du Nord (*), et l'existence du *skjaergaard*, ligne de

(*) Le Hardangerfjord offre, par exemple, des profondeurs qui atteignent 800 mètres, alors qu'à son débouché dans la mer du Nord, la sonde touche le fond à 350 mètres.

récifs et d'îles bordant toute la Scandinavie, tendent à le démontrer.

M. de Geer a observé méthodiquement une foule de lignes d'ancien rivage, tracées depuis le départ des glaces, souvent sur des moraines. De haut en bas, on trouve successivement des moraines à éléments anguleux non lavés par la mer, puis une sorte de falaise, dont le pied correspond au plus haut niveau de la mer, enfin des terrasses de sédimentation un peu au-dessous de l'ancien niveau de la mer (voyez pages 260 et 262).

M. de Geer a mesuré soigneusement l'altitude de nombreux plus hauts niveaux qu'il a relevés en Suède. Il appelle *isoanabases* des lignes d'égal soulèvement du continent, *isocatabases* des lignes d'égal affaissement, et il réunit les unes et les autres sous le nom d'*isobases*.

Il a tracé en 1888 les isoanabases de la Scandinavie relatifs à la période comprise entre l'affaissement maximum, sensiblement concomitant de la dernière glaciation, et l'époque actuelle.

M. Gilbert avait fait de même, en 1882, pour la région de l'Utah qui a été occupée jadis par le lac Bonneville, dont le grand lac Salé est le résidu.

La conclusion suivante de M. de Geer nous paraît à retenir :

« Ce phénomène (l'élévation de la terre) est d'une nature essentiellement locale et, comme tel, n'a rien à voir avec le mouvement général du niveau de la mer. »

La carte, tracée par M. de Geer, figure les parties immergées au moment du maximum d'affaissement. Elle montre qu'à ce moment, la mer formait un sund du Cattegat à la Baltique, le long des lacs Wener, Hjelmar et Maelar.

M. de Geer remarque avec raison que les isoanabases suivent à peu près le contour du plateau azoïque, que Suess désigne sous le nom pittoresque de *bouclier baltique*.

Nous ajouterons qu'ils suivent également le contour de la limite la plus récente des glaces scandinaves.

Ed est située en Suède, sur la voie ferrée de Göteborg (Gothembourg) à Kristiania, tout près de la frontière de Norvège. M. de Geer y était en villégiature en juillet 1892 et a eu l'obligeance de nous montrer dans le voisinage de nombreux points intéressants :

1° Les grandes moraines, hautes de 20 à 30 mètres, qui bornent au sud les glaciers de la seconde période glaciaire. Elles sont au nombre de trois continues et quelques-unes discontinues. La grande importance de ces moraines démontre le temps considérable pendant lequel l'extrémité des glaciers est restée à peu près stationnaire ;

2° Une petite terrasse d'érosion, formée dans la moraine Nord à 161 mètres d'altitude, à l'époque de l'affaissement maximum de la Scandinavie (voir page 262).

3° Des érosions opérées dans les moraines par des torrents qui roulaient sur ou sous les glaciers, qui entraînaient les petits matériaux et qui laissaient en place les gros blocs erratiques en y creusant parfois des marmites de géant ;

4° Un petit âs, analogue à celui que nous avons vu à Stockholm et qui sera décrit pages 271 et 272 dans le paragraphe XI ;

5° Un ancien delta de menus matériaux formé par un fleuve qui suivait, sous un glacier, la vallée actuellement occupée par le lac de Stora Lee. Sa limite supérieure est sensiblement horizontale, et ses bords latéraux et antérieurs présentent des talus à terre coulante ;

6° Un dépôt d'argile grise quaternaire présentant de bas en haut :

a) Une suite de couches d'abord épaisses de $0^m,200$, ensuite diminuant jusqu'à $0^m,001$ et séparées par des dépôts de sable formés pendant la fonte estivale des glaces ;

b) Des couches d'argile sableuse dont le dépôt a été rendu irrégulier par la présence de glaces flottantes ;

c) De nouvelles couches d'argile régulières (*).

§ VII. PREUVES GÉOLOGIQUES DU MOUVEMENT QUATERNAIRE DE LA SCANDINAVIE.

Les preuves géologiques du mouvement quaternaire de la Scandinavie sont tirées :

1° De la considération des anciennes lignes de rivage de la mer moderne actuellement surélevées (**) ;

2° De l'existence d'une ancienne communication marine entre les lacs de Suède et la Baltique et peut-être même la mer Blanche ;

3° De la présence de restes de madrépores modernes au-dessus de la zone où ils peuvent vivre.

En outre, M. Erdmann a cru voir, à tort selon nous, des cordons littoraux actuellement surélevés dans les nombreux âsar qui sillonnent la Suède.

Nous allons passer successivement en revue ces quatre ordres de considérations.

§ VIII. LIGNES DE RIVAGE.

Les anciennes lignes de rivage de la mer moderne actuellement surélevées se présentent sous les trois aspects suivants :

1° La mer a déposé parfois sur son bord, même sur un cap ou sur une île, une plage de galets qui forme aujourd'hui une sorte de crête rectiligne ;

(*) Il paraît qu'en d'autres points ces alternances de régularité et d'irrégularité se sont répétées jusqu'à cinq fois.

(**) Elles sont désignées en norvégien sous les noms de *strandljnier* ou de *terrasser*, selon leur aspect.

2° Elle a formé parfois par érosion une falaise verticale et on trouve, successivement de haut en bas, un terrain cultivé, un escarpement de 0 à 14 mètres de hauteur, une bande horizontale qui marque à 1 mètre près l'ancien niveau de la mer, des blocs, des cailloux, des graviers, de l'argile. M. de Geer nous a montré une semblable ligne de rivage, à peine reconnaissable d'ailleurs au nord-est d'Ed (voir page 260);

3° Un delta s'est souvent formé sous la mer à l'embouchure d'un fleuve, et on le voit aujourd'hui émerger à l'orifice de la vallée. Il est limité à la partie supérieure par un plan plongeant faiblement vers la mer et tout autour par des talus à 30° environ. M. de Geer nous a montré un semblable phénomène près d'Ed (voy. p. 260).

Du cap Nord à Odde sur le Hardangerfjord, nous avons vu de très nombreuses terrasses de cette nature. Elles ont évidemment l'origine suivante : les rivières qui coulaient dans les vallées les emplissaient de matériaux détritiques et déposaient à leur embouchure des deltas de même composition; puis, le niveau du sol s'étant surélevé en même temps que se réduisait le débit des rivières, celles-ci se sont creusé des lits étroits dans les terrasses et les deltas qu'elles avaient antérieurement déposés. Parfois, un côté de la terrasse ou du delta a complètement disparu. Ce même phénomène s'est reproduit à plusieurs reprises. Aujourd'hui, quand d'un fjord on regarde une vallée, on voit habituellement de chaque côté une terrasse ou plusieurs terrasses superposées : chacune de ces terrasses est limitée à sa partie supérieure par une surface sensiblement plane et horizontale, et sur ses bords latéraux et antérieurs par des talus sensiblement à terre coulante (30°).

Ainsi, par exemple, du pittoresque Nœrofjord, la Dyrdal apparaît bordée sur sa rive droite (sud) par une terrasse de 40 mètres environ de hauteur et sur sa rive gauche

(nord) par deux terrasses de 30 et de 60 mètres environ de hauteur.

Nous avons constaté, notamment dans la Romsdal, que les terrasses marines de Veblungsnaes se reliaient sans interruption avec les terrasses fluviales que la Rauma a déposées avant d'y creuser son lit actuel.

A Ejde i Graven, sur le Hardangerfjord, nous avons vu affleurer sur le bord antérieur, haut de 25 mètres environ, d'une terrasse d'alluvion marine, exploitée comme carrière de sable, une couche très nette et très régulière d'argile sableuse, située à 5 mètres au-dessus de la mer, puissante de $0^m,025$ et inclinée de 12° vers la mer. Cette argile a dû se déposer à un moment où le courant fluvial s'était ralenti. Nous y avons en vain cherché des fossiles.

Les terrasses sont, de nos jours encore, remaniées par les courants fluviaux. M. Rabot l'a constaté notamment au fond du Ranenfjord.

Les terrasses marines, dont nous nous occupons, sont généralement sableuses. Quand par exception elles sont argileuses, on y trouve des fossiles marins.

Indépendamment de ces terrasses, on trouve en grand nombre, en Norvège, des terrasses glaciaires à gros éléments et des terrasses fluviales généralement argileuses, passant au maërl quand il y a du calcaire dans le voisinage.

M. Kjerulf et de nombreux géologues ont observé des terrasses marines sur les côtes de la Norvège, à peu près indistinctement à tous les niveaux, depuis 0 jusqu'à environ 200 mètres d'altitude, mais les terrasses basses ne se trouvent guère que dans le Nord, et les terrasses hautes se rencontrent de préférence dans le Midi, au fond des fjords.

Certaines terrasses ont été formées, et certaines marches ont été coupées, non pas par la mer, mais par des

lacs emplissant des vallées barrées par des moraines.

Après avoir comparé la Norvège au Grönland, ce qui est le meilleur moyen d'étudier son passé, Suess conclut que « toutes les marches et la grande majorité des terrasses qui se trouvent dans l'ouest de la Norvège sont plutôt des souvenirs du recul de la glace que des témoins du changement de niveau de la mer ou des mouvements de la terre ferme. »

Il classe d'ailleurs en trois âges les terrasses et les marches de la Norvège du Nord :

1° Le groupe ancien, situé au-dessus de 45 ou de 50 mètres, contient des fossiles reconnus par Pettersen comme interglaciaires ;

2° Le groupe moyen, qui se termine en bas par l'argile bleue, est glaciaire ou glaciaire-fluviatile ;

3° Le groupe le plus jeune est le sable coquillier des côtes.

Près de Kristiania, il reconnaît deux âges de dépôts marins :

1° Le plus ancien situé entre 188 et 194 mètres, contient une faune arctique : *Mya truncata*, *Saxicava rugosa*, *Yoldia arctica*, *Buccinum groenlandicum* ;

2° Le plus jeune situé vers 75 mètres, contient une faune tempérée : *Buccinum undatum*, *Cardium edule*, *Littorina littorea*, *Mytilus edulis*, *Tapes decussata*, *Pholas candida*.

On ne saurait apporter une trop grande méfiance dans l'examen des preuves du mouvement de la Scandinavie, tirées de l'existence de prétendues anciennes lignes de rivage marin, actuellement surélevées.

Il faut encore éviter de regarder comme une véritable plage coquillière, construite par le jeu naturel des vagues, des amas de débris de mollusques mangés soit par les hommes, soit par les oiseaux de mer.

Un point intéressant, qui n'est malheureusement pas

encore tranché est celui de savoir si les terrasses partielles, observées par Bravais, de 1838 à 1840, en six points du Finmark, sont effectivement, comme il l'a pensé, des restes de deux terrasses superposées.

Les altitudes qu'il a mesurées sont les suivantes :

Kaafjord, à l'extrémité sud de l'Altenfjord. .	67,4	27,7
Talvig et Krogsnaes.	56,5	24,5
Tomagfjord	51,8	20,5
Sarabynes, Leeredfjord et Quaenklubb	49,6	18,3
Restabynes, dans l'est de Seiland	42,7	16,6
Hammerfest et environs	28,6	14,1

S'il en est effectivement ainsi, le défaut d'horizontalité et même de parallélisme de ces deux terrasses sont deux faits du plus haut intérêt. Mais chacune des terrasses observées est peu étendue, la discontinuité est grande, la pente est faible,

Et adhuc sub judice lis est.

M. Sexe a trouvé, sur la ligne de rivage de l'Osterfjord, des stries glaciaires, dans le sens du fjord. Ce fait, très rare d'ailleurs, prouve que cette ligne de rivage a été formée avant le glacier.

M. Karl Pettersen, l'un des géologues norvégiens qui ont le plus étudié la question des lignes de niveau et des terrasses, termine le mémoire qu'il a publié en 1880 sur ce sujet, par le résumé suivant que nous croyons devoir citer intégralement, bien que tout ne nous paraisse pas indiscutable :

« 1. Les lignes de niveau et les terrasses ne sont pas toutes à des niveaux fixes et déterminés.

« 2. Quelques-unes se présentent d'une façon locale et à bâtons rompus, d'autres se prolongent sur des lieues.

« 3. Ces dernières sont plus que les autres liées à des

niveaux déterminés, et comme telles, on les trouve dans le nord de la Norvège sur des étendues considérables.

« 4. Chaque exemple des lignes de rivage gravées sur roc en place conserve partout une course sensiblement horizontale, soit que la ligne coure à peu près dans la direction des côtes, soit qu'elle s'étende depuis les côtes vers l'intérieur.

« 5. Par contre, les marches successives, en quelque sorte en forme d'escalier, montent dans la direction des côtes vers l'intérieur des terres où elles atteignent leur plus haut niveau ; les lignes de rivage placées le plus haut sont par suite à trouver au milieu du cours des sunds ou au fond des fjords.

« 6. Par suite, les lignes de rivage gravées dans l'intérieur des terres paraissent antérieures comme formation à celles gravées vers les côtes.

« 7. Les lignes de rivage, comme les marches de terrasses, sont nées dans la zone de rivage.

« 8. En dehors de l'action lavante et brisante de la mer, d'autres actions lavantes paraissent avoir coopéré à la formation des lignes de rivage.

« 9. La formation des lignes de rivage empreintes le plus fortement et liées à un niveau déterminé, résulte probablement en partie des changements périodiques du climat.

« 10. La formation des lignes de rivage a commencé au bord supérieur de la forte pente et leur exhumation s'est opérée de haut en bas, en même temps que le sol s'élevait lentement par rapport au niveau de la mer.

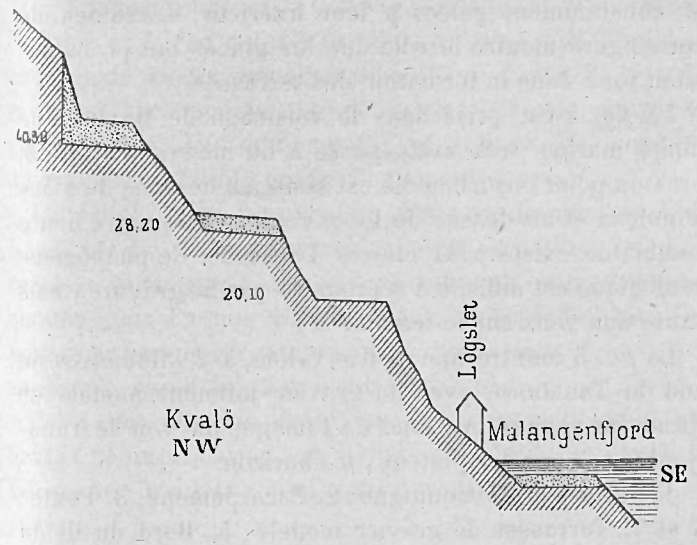
« 11. L'exhaussement du sol doit avoir eu lieu depuis le niveau de la mer jusqu'à 63 mètres au-dessus de ce niveau, lentement et régulièrement et non par secousses et saccades.

« 12. Les changements relatifs de niveau du sol et de la mer survenus pendant la période postglaciaire dans

la direction des côtes de la Norvège septentrionale s'expliquent de la façon la plus simple par l'hypothèse de la variabilité du niveau de la mer. »

Dans son étude publiée en 1879, M. Richard Lehmann donne une liste de cent vingt anciennes lignes de niveau de la mer antérieurement constatées par Bravais, par Mohn, par divers géologues et par les officiers du navire *Hansteen*.

Le même auteur a donné, en 1881, une coupe prise un peu au sud-ouest de Tromsö et que nous reproduisons ci-dessous :



A bord du vapeur *Mira*, qui nous amenait vers ce port, nous avons eu l'occasion de remarquer que la rive sud de Kvalö présentait effectivement trois marches vers les hauteurs indiquées sur cette coupe.

La planche XIV reproduit une série de figures fort instructives empruntées au voyage de M. Reusch dans le Finmark, en 1891.

La *fig.* 1 montre des terrasses situées dans le Varan-

gerfjord, à l'embouchure du Pasvik, vues de l'église de Kirkenes, submergées à la marée haute, et probablement dues à l'action hivernale des glaces. De semblables récifs sont, paraît-il, très fréquents au Spitzberg.

La *fig.* 2 est une vue schématique de l'embouchure du Thomas dans le Varangerfjord. On y voit le gravier lavé, épais de plus de 50 mètres, la plus haute ancienne limite marine *aa* à 93 mètres d'altitude, et trois terrasses *bb* à 10 mètres plus bas environ.

La *fig.* 3 représente des marécages à l'ouest de Nyborg avec protubérances hautes de 3 à 4 mètres au maximum et constamment gelées à leur intérieur. L'examen de cette figure montre le rôle que les glaces ont probablement joué dans la formation des terrasses.

La *fig.* 4 est prise dans le voisinage de Makur. Une limite marine très nette passe à 60 mètres d'altitude, près du point où un homme est assis, au-dessous de blocs anguleux et au-dessus de blocs roulés. Une autre limite semblable existe à 34 mètres d'altitude. Ce phénomène géologique est difficile à reproduire par la gravure, mais saute aux yeux sur le terrain.

La *fig.* 5 montre une petite vallée, à 2 kilomètres au sud du Tanahorn, avec du gravier joliment modelé en forme de vagues. Au fond de l'image, on voit le Tanafjord fermé par des plateaux à l'horizon.

1. Surface de la montagne; 2. Escarpement; 3. Pente; 4 et 7. Terrasses de gravier modelé; 5. Bord du lit du fleuve; 6. Fleuve; 8. Terrain nu; 9. Herbe.

La *fig.* 6 représente une ligne de niveau supérieur, à 25 mètres d'altitude, gravée dans l'intérieur du Tanafjord sur du roc ferme : schiste argileux tendre et grès dur. Il y a une autre ligne de niveau à 16 mètres d'altitude.

La *fig.* 7 montre la moraine coupée qui supporte les maisons de Hammerfest du côté gauche et les eaux du Storevand (grand lac) du côté droit; elle montre également la terrasse découpée, à 21 mètres d'altitude, par l'eau de ce lac au niveau supérieur de la moraine, avant la formation de la coupure actuelle. Le haut de la moraine a été lavé par la mer, et, dans cette partie, on trouve quelques débris de *Mya truncata*.

Le 24 juin 1892, ce lac, situé presque au niveau de la mer, n'avait encore dégelé que ses bords et un diamètre, où les traîneaux avaient fatigué la glace en hiver.

La *fig.* 8 est un dessin schématique des lignes de niveau dans la partie la plus resserrée du Kvalsund (détroit de la Baleine).

o. Rocher et herbe; *l*. Coupe; *s*. Rocher abrupt à pans coupés; *x*. Ligne de rivage ancienne couverte d'herbes et large de quelques mètres à peine; *x'*. Ligne de rivage moderne sur laquelle on peut marcher seulement à marée basse; *u*. Éboulements; *y*. Grands éboulements de gravier; *z*. Limite entre éboulement et roc.

La *fig.* 9 est un paysage de terrasses dessiné près de Kaafjord. La terrasse supérieure est à 61 mètres. La terrasse inférieure a son sommet en pente. Ce paysage, comme nous l'avons dit plus haut, se reproduit tout le long des côtes norvégiennes, avec des variations à peine sensibles, d'une façon presque fastidieuse.

Sur la *fig.* 10, l'un des deux hommes assis dans le bateau montre, avec son bâton, le boulon surélevé à Bosekop (Altenfjord), dont nous avons parlé page 247.

Nous ne sommes pas assez présomptueux pour prétendre trancher, dans ce chapitre, toutes les questions auxquelles donnent naissance les anciennes lignes de rivage en Norvège : nous nous sommes à peu près borné à résumer ce qui a été dit de plus intéressant à leur sujet.

§ IX. FJORD OU SUND QUATERNAIRE INTERSCANDINAVE.

M. de Geer tire de la pure géologie des conclusions analogues sinon identiques à celles que fournit la zoologie.

Les lacs de Scandinavie sont très nombreux et très étendus. Le lac Wener notamment baigne une étendue de 5.568 kilomètres carrés ; son niveau d'eau est à 44 mètres au-dessus de la mer et sa plus grande profondeur est de 90 mètres. M. de Geer pense qu'il a communiqué jadis avec les lacs Hjelmar et Maelar, et qu'il a formé avec eux un véritable sund, débouchant dans le Cattegat à Uddevalla et dans la Baltique, à Stockholm.

A Uddevalla, l'eau de ce sund était très salée, très claire et très riche en mollusques arctiques. A Stockholm, il n'y avait qu'un mollusque marin, le *Yoldia arctica*.

D'après M. de Baer, la fermeture de cette communication marine entre la mer du Nord et la Baltique ne remonterait qu'à une cinquantaine de siècles.

Il résulte de cette théorie, aussi bien que de celle exposée dans le paragraphe IV, que le fond des lacs de Suède s'est surélevé pendant la période quaternaire et qu'ils ont remplacé leur eau salée par de l'eau douce, apportée par les pluies et par les fleuves.

La façon dont le sel a été évacué a été étudiée plus haut dans le paragraphe V.

§ X. MADRÉPORES.

L'espèce de madrépore, appelée par Linné *Oculina prolifera*, vit dans la mer entre les profondeurs de 200 et de 600 mètres, ainsi que l'acéphale *Lima excavata*.

M. Michael Sars a rencontré au fond du Kristianiafjord (que les Norvégiens appellent par abréviation Xniafjord), près Dröbak, Svelvik, Bevöen, Ryg, etc., des restes d'*Oculina prolifera* depuis la profondeur de 150 mètres jusqu'au niveau de la mer. Il a également trouvé dans l'île de Barholmen, depuis le niveau de la mer jusqu'à 30 mètres d'altitude, ce même corail associé aux coquilles bivalves de la *Lima excavata*.

Il a cru pouvoir en conclure que cette région s'est surélevée de plus de 200 mètres pendant l'époque actuelle.

§ XI. ÅSAR.

Le mot suédois *ås* (pluriel *åsar*) signifie littéralement colline, mais il est pris en géologie dans un sens particulier. Les âsar sont des collines rectilignes dirigées généralement du nord-ouest au sud-est et reposant sur les roches polies et sur les moraines.

M. Törnebohm a reconnu, et on admet généralement aujourd'hui, que les âsar ont été déposés dans le lit d'anciens torrents superglaciaires et sont recouverts par des dépôts d'argile marine fossilifère.

M. Lundbohm a eu l'obligeance de nous faire faire au nord de Stockholm une visite très intéressante de l'âs sur lequel est bâti l'observatoire de Stockholm, depuis ce monument jusqu'à Ställmästeregården sur le lac Brunsviken.

Cet âs repose sur des pegmatites polies et striées par des glaces cheminant du N. 20° W. au S. 20° E. Les faces des rochers tournées vers le Nord sont, comme de juste, beaucoup mieux polies que celles qui regardent le Midi.

Sur ces roches repose un dépôt de 30 mètres de hauteur de blocs roulés, de cailloux roulés, de graviers et de sable. Une grande carrière l'exploite à ciel ouvert et on y sépare des pavés ronds pour rues et du sable pour ciment. La stratification est horizontale au milieu et s'infléchit des deux côtés vers les bords de l'âs. Dans les gros matériaux, on trouve surtout du granite amphibolique d'Up-

sala. Le sable contient du quartz, du feldspath, de l'amphibole, du mica, de la pyrite, etc. Sur les flancs de l'âs repose une argile téguline postglaciaire à *Mytilus edulis*.

D'après cette description, le mode suivant de formation des âsar saute aux yeux : les torrents, qui coulaient à la surface du glacier, déposaient dans leur lit de glace les matériaux qu'ils contenaient, et ces matériaux sont tombés plus bas sans dislocation lors de la fonte lente du glacier.

Sur les flancs des âsar on trouve successivement en stratification discordante avec eux : du sable, de l'argile glaciaires, du sable, de l'argile et du sable postglaciaires.

La plupart des âsar de Suède se sont formés lors de la seconde glaciation.

On trouve des âsar de première glaciation en Scanie et en Allemagne, mais ils sont généralement moins nets que ceux de Suède. Les moraines de la seconde glaciation recouvrent parfois ces âsar antérieurs.

Il résulte, en tout cas, de la description ci-dessus, que les âsar ne sont en aucune façon d'anciens cordons littoraux et qu'on ne peut tirer de leur existence aucune indication relative au mouvement de la Scandinavie.

§ XII. CONCLUSION.

Quoi qu'il en soit, ce mouvement est un fait absolument indéniable en présence de toutes les preuves qui se réunissent pour le démontrer, si contestables soient-elles, considérées chacune isolément.

Comme explication de ce phénomène, la théorie de M. de Drygalski nous paraît la plus satisfaisante. Comme à lui et comme à M. de Lapparent, la principale cause de la surélévation de la Scandinavie nous semble devoir être cherchée dans son échauffement, qui a été la cause ou l'effet du départ des glaces.

Au contact des glaces qui le recouvraient, et dont il fondait la base, le sol d'une calotte d'environ 1.500 kilomètres de diamètre, comprenant approximativement la Scandinavie, la Baltique et la Finlande, ne pouvait jamais élever sa température au-dessus de 0°. Le sous-sol de cette calotte est en grande partie formé par du granite ou par des matériaux de composition analogue.

Aujourd'hui la température moyenne de l'atmosphère est + 7°,1 à Skudesnaes et — 2°,5 à Röraas. On peut admettre qu'elle est en moyenne de + 3° pour l'ensemble considéré, et que telle est par conséquent la température moyenne actuelle de la surface de la terre dans le bouclier baltique.

Son sol s'est donc réchauffé d'environ 3° depuis l'époque glaciaire, et si on néglige l'influence — pourtant incontestable — du défaut de conductibilité de la glace pour la chaleur, son sous-sol s'est réchauffé en même temps de la même quantité. Si sa masse était absolument compacte et ses bords absolument rigides, elle se serait en même temps **relevée à son centre de 229 mètres,** son contour serait resté immobile et les *isoanabases* seraient parallèles à ce contour.

Le carte ci-contre, qui reproduit une carte dressée par M. de Geer, *en dehors de toute préoccupation théorique*, montre que la Scandinavie a très sensiblement satisfait à ces conditions.

Il y a bien quelques légères divergences, mais pour les expliquer on a le choix entre les considérations suivantes :

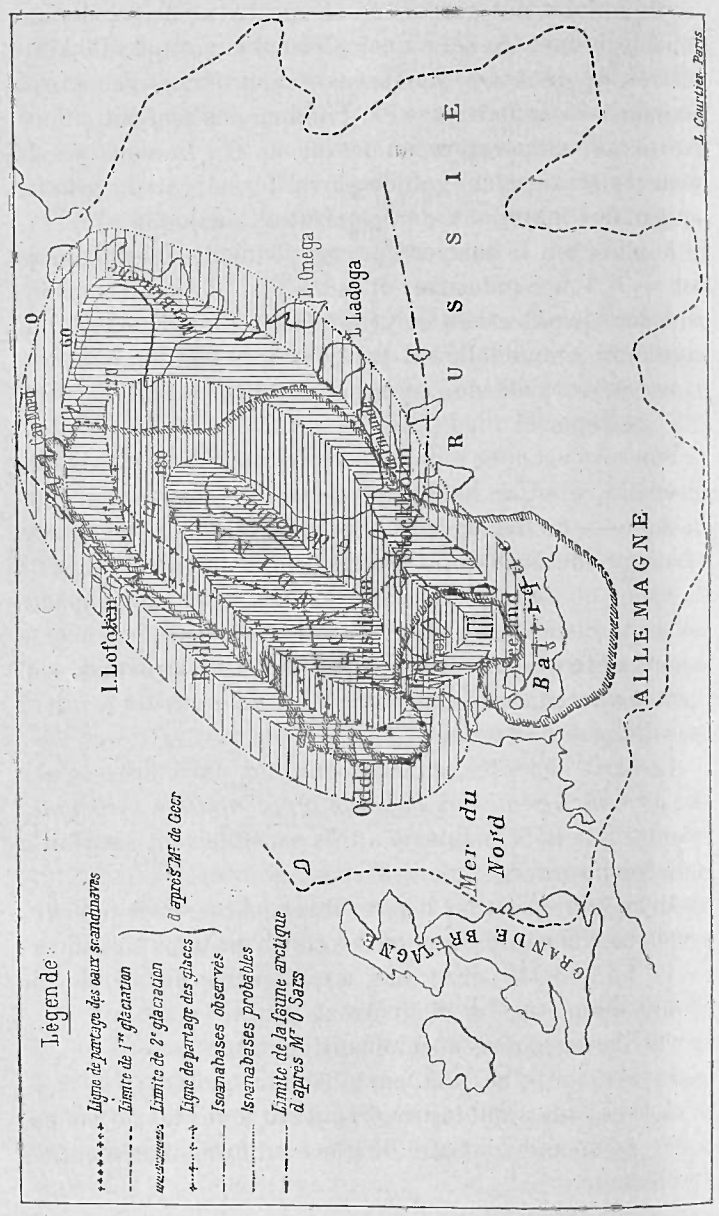
1° La calotte n'est pas exactement un cercle de 1.500 kilomètres de diamètre ;

2° Elle n'est pas absolument continue ;

3° Ses bords ne sont pas absolument fixes ;

4° Les failles qui la traversent ont joué plus ou moins ;

5° A l'époque glaciaire, la glace lui formait un manteau protecteur ;



6° La température actuelle moyenne de sa surface varie notablement dans toute son étendue ;

7° Le sol scandinave a en outre remué par les diverses causes énumérées dans le paragraphe I ;

8° Le niveau moyen de la mer n'est pas absolument immuable.

Quoiqu'il en soit, il nous paraît que M. de Lapparent a pu très légitimement dire de la Scandinavie, dans son langage imagé, que « la terre ferme débarrassée de ses glaces s'est comportée comme la poitrine humaine qui respire et se dilate au moment où cesse la compression qui l'étreignait. »

Le nouvel état d'équilibre n'étant pas encore atteint, le mouvement ascensionnel de la Scandinavie continue, mais il se ralentit de jour en jour, comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe III.

A l'appui de cette théorie, nous pouvons citer ce fait, à notre avis capital, que les mêmes causes, agissant au Canada, y ont produit les mêmes effets qu'en Scandinavie.

M. Ch.-Ed. Guillaume, membre de la Commission internationale des poids et mesures, à qui nous l'avons soumise, nous a fait cette remarque qui la corrobore encore : « On ne se doute pas, lorsqu'on n'en a pas fait le calcul, des déformations produites sur la terre par la chaleur. Les opticiens ont sur ce point une grande expérience. Il suffit par exemple d'appliquer sa main sur une grande lentille pour troubler les images, qui ne redeviennent nettes qu'après une ou deux heures ou même plus. Dans le travail des verres d'optique, on procède par de petites retouches et on laisse le verre se reposer avant chaque essai. »

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1891

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux de M. PROST, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

1° *Minerai de manganèse.* — Échantillon provenant des travaux de recherches de Meyrueis, aujourd'hui abandonnés :

Perte au feu	20,70
Silice	4,50
Peroxyde de fer	8,10
Alumine	traces
Oxyde salin de manganèse	57,50
Chaux	9,05
Magnésie	0,35
Acide phosphorique	0,08
Soufre	traces
	100,18

2° *Pyrites aurifères.* — Échantillons provenant des concessions du Rouvergue et de l'Auzonnet (Gard) :

		TENEUR EN OR à la tonne de minerai.
1.	Pyrite de fer de la concession du Rouvergue (Gard).	30 grammes.
2.	Id. avec quartz id.	12 —
3.	Id. id. id.	12 —
4.	Id. id. id.	8 —
5.	Id. id. id.	traces
6.	Id. id. id.	10 —
7.	Pyrite de fer de la concession de l'Auzonnet	10 —

II. — LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

Travaux de M. DE BÉCHEVEL, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

1° *Minerai blendeux.* — Échantillon provenant de Magnac, commune de Sarrus (Cantal), remis par M. Blanchet, explorateur.

Ce minerai est composé de blende brune cristallisée, associée avec du quartz et de la galène ; il renferme 42 p. 100 de zinc et 8,85 p. 100 de plomb.

Sa teneur en argent est de 204 grammes par tonne.

Si l'on admet que le plomb contenu dans le minerai renferme 710 grammes d'argent par tonne, selon le résultat d'un essai fait d'autre part sur un échantillon de galène massive provenant du même gîte, on est conduit à attribuer au zinc seul une teneur de 336 grammes par tonne.

2° *Galène.* — Échantillon de galène massive à grandes facettes, provenant de Magnac et remis par M. Blanchet.

Rendement en plomb	76 p. 100
Teneur en argent du minerai brut	540 gr. par tonne.
— du plomb d'œuvre	710 —

3° à 6° *Minerais d'antimoine.* — Les échantillons *a* et *a'* proviennent de la commune de Servant (Puy-de-Dôme), et ont été présentés par M. Bourget, explorateur à Neuf-Église.

a. Sulfure d'antimoine finement disséminé dans du quartz avec quelques aiguilles cristallines tranchant sur le fond.

a'. Mélange intime de quartz et de sulfure sans aiguilles discernables.

b. Échantillon présenté par M. Tatry comme provenant de la commune de Giat (Puy-de-Dôme), il est formé de sulfure d'antimoine cristallisé en larges aiguilles, avec gangue quartzeuse.

c. Échantillon présenté par M. Forqueray comme provenant de la commune de Saint-Just, près Brioude (Haute-Loire), et formé de sulfure en fines aiguilles, à texture soyeuse.

Composition centésimale.

	a	*a'*	*b*	*c*
Quartz	80,00	81,33	20,33	36,33
Fer	1,86	2,56	0,61	2,80
Plomb ou Cuivre	traces	0,16	0,10	0,16
Antimoine	12,07	10,00	57,24	42,55
Soufre	6,00	5,95	21,70	18,10

III. — LABORATOIRE DU MANS.

Travaux de M. BERNHEIM, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

1° *Minerais d'antimoine.* — Échantillons de sulfure d'antimoine provenant des recherches faites par MM. Maudet et Cie dans la commune de Martigné-Ferchaud (Ille-et-Vilaine). Les lettres G et T désignent respectivement les échantillons pris d'une part dans une tranchée et d'autre part dans une galerie. L'analyse a donné les résultats suivants :

	G	T
	p. 100	p. 100
Antimoine	63,40	83,60
Soufre	11,45	14,05
Fer	1,45	0,21
Arsenic	néant	néant
Résidu insoluble	11,10	traces

L'antimoine a été dosé par la méthode récemment proposée par M. l'Ingénieur en chef Carnot.

2° *Eaux.* — Cinquante et une analyses d'eaux ont été faites en 1892, dont douze sur l'eau d'alimentation de la ville du Mans, prise le 15 de chaque mois au robinet du laboratoire.

Les dosages habituellement effectués pour apprécier la qualité des eaux sont les suivants :

Titre hydrotimétrique. — Chlore. — Acide sulfurique. — Acide azotique. — Acide azoteux. — Ammoniaque. — Oxygène emprunté au permanganate de potasse. — Résidu desséché à 180°. — Matières volatiles au rouge.

Le chlore, l'acide azotique, l'acide azoteux et l'ammoniaque sont dosés au moyen de liqueurs titrées. L'essai au permanganate est exécuté suivant la méthode indiquée par le Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Les chiffres limites donnés par ce Comité servent de guides dans l'appréciation de la qualité des eaux.

Il en a été trouvé vingt mauvaises, sept médiocres ou passables. Dans deux échantillons, on a seulement recherché le plomb, sur la demande du déposant : ce corps n'y existait pas. Trois échantillons étaient destinés à l'alimentation de chaudières à vapeur; deux étaient propres à ce service; l'autre, remis par

M. Quinquet, Ingénieur des ponts et chaussées au Mans, était trop chargé de sels, notamment de sulfates.

L'analyse du résidu fixe a été faite pour huit échantillons adressés par trois villes qui étudient des projets de distribution d'eau.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus :

(Les alcalis sont calculés en sels de sodium, s'ils n'ont pas été dosés).

	VILLE DE MAMERS			VILLE de SABLÉ	VILLE DE LA FLÈCHE			
	Source du Cervoy	Source des Hêtres	Source des Baronnières	Eau de la Sarthe	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Titre hydrotimétrique	26°	17°	35°	21°	39°	32°	37°	39°
	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Chlore par litre.	10	11	28	19	30	21	25	32
Acide sulfurique id.	5	5	29	13	5	4	4	5
Acide azotique id.	10	6	15	2,75	5	7	6	13
Acide azoteux id.	0,04	traces très faibles	0,4	traces faibles	traces faibles	traces faibles	traces très faibles	traces très faibles
Ammoniaque id.	0,4	0,7	0,55	0,8	0,4	0,3	0,4	0,5
Oxygène emprunté au permanganate de potasse, par litre.	1,4	2,1	4,2	3,2	2,9	1,6	1,8	1,4
Résidu desséché à 180°, id.	312	182	478	260	406	340	364	402
Matières volatiles au rouge, par litre.	20	9	42	28	42	20	14	18
Analyse du résidu.								
Silice par litre.	8	8	14	17	26	28	28	24
Alumine et oxyde de fer, id.	traces	traces	6	3	8	8	4	6
Chaux id.	146	80	156	101	166	136	158	160
Magnésie id.	6	6	14	7	6	7	7	8
Potasse id.	non dosée	non dosée	non dosée	traces	non dosée	non dosée	non dosée	non dosée
Soude id.	non dosée	non dosée	non dosée	4	non dosée	non dosée	non dosée	non dosée
Composition calculée du résidu.								
Silice par litre.	8	8	14	17	26	28	28	24
Alumine et oxyde de fer, id.	traces	traces	6	3	8	8	4	6
Carbonate de chaux id.	245	131	278	164	285	232	271	268
Sulfate de chaux id.	8	8	»	22	8	7	7	8
Azotate de chaux id.	15	9	»	»	7	10	9	20
Carbonate de magnésie, id	6	3	23	»	13	15	15	17
Chlorure de magnésium, id.	7	11	»	16	»	»	»	»
Azotate de soude id.	»	»	24	»	»	»	»	»
Sulfate de soude id.	»	»	51	»	»	»	»	»
Chlorure de sodium id.	8	5	46	7	48	20	41	52
Chlorure de potassium, id.	»	»	»	3	»	»	»	»
Matières organiques id.	14	7	36	25	42	20	14	18
	311	182	478	257	437	340	389	413

IV. — LABORATOIRE DE PAU.

Travaux de M. METTRIER, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

Minerais de fer. — *a.* Minerais de la mine Cristina, commune de Lesaca (Navarre), actuellement inexploitée, mais où existent d'anciens travaux faisant présumer l'existence d'un filon analogue à celui d'Ustelléguy ; divers échantillons ont été prélevés sur les lieux par l'Ingénieur des mines, en raison de l'intérêt que peut avoir pour les usines françaises la remise en activité des mines de fer de la Navarre.

	Hématite	Minerai spathique.
	p. 100	p. 100.
Fer métallique	55,05	44,38
Manganèse métallique	4,75	5,67
Silice	7,55	3,50
Alumine	1,10	1,00
Soufre	0,05	traces
Phosphore	0,00	0,00

Ces minerais seraient par suite de très bonne qualité, sans la teneur assez élevée des hématites en silice et en soufre.

b. Minerai de la mine Escalamendi, exploitée par M. d'Eichtal dans le district des Trois-Couronnes (Navarre), pour l'usine du Boucau ; minerai prélevé sur les lieux par l'Ingénieur des mines, et consistant en hématite brune, en fragments de moyenne grosseur.

	P. 100
Fer métallique	51,72
Manganèse	2,54
Résidu inattaquable	3,12
Soufre	0,013
Phosphore	0,002

c. Minerais de Bilbao, prélevés à l'usine du Boucau pour le carbonate, et à celle de Labouheyre pour le peroxyde ; essais destinés à la détermination exacte de la teneur actuelle des minerais de Bilbao.

	Rubio.	Spathique.
Fer	51,53	43,17
Manganèse	2,18	3,02
Résidu inattaquable	2,77	2,45

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

Travaux exécutés sous la direction de M. LEBRETON, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

1° *Minerai de fer.* — Échantillon provenant de Condé (Maine-et-Loire).

Éléments dosés.

	P. 100
Sesquioxyde de fer	51,90
Protoxyde de fer	17,23
Acide carbonique	5,68
Silice	19,10
Chaux	0,616
Magnésie	0,567
Alumine	traces
Acide phosphorique	0,239
Eau combinée	4,98

2° *Houilles.* — Échantillons provenant du Tonkin.

		CHARBON tout-venant	CHARBON choisi
		p. 100	p. 100
Humidité		2,25	1,85
Rendement en coke		73,5	68,5
Cendres du coke		48,4	25,7
Cendre du charbon		35,5	17,6
Carbone fixe	Cendres déduites	56,9	59,3
Hydrogène		9,08	4,7
Oxygène		4,00	0,6
Azote		1,72	1,4
Soufre		6,17	6,4
Phosphore		0,0341	0,0194
Matières volatiles		41,1	38,2

3° *Eau minérale.* — Eau de Saint-Galmier (Loire).

ÉLÉMENTS DOSÉS.	PAR LITRE. Grammes.
Résidu à 100°	3,476
Acide carbonique total	4,862
Acide carbonique libre	2,017
Bicarbonate de soude	3,600
Id. de potasse	0,299
Id. de lithine	0,0395
Id. de chaux	0,508
Id. de magnésie	0,638
Id. de fer	0,0155

Chlorure de sodium	0,177
Sulfate de sodium	0,0218
Phosphate de chaux	0,0015
Silice	0,094

VI. — LABORATOIRE DE VESOUL.

Travaux de M. VILLAIN, ingénieur des mines. (Extrait.)

Eaux. — Essais hydrotimétriques de quatorze échantillons d'eau recueillis dans les communes d'Athesans, Mignavillers, Granges-la-Ville, Granges-le-Bourg, Secenans et Senargent.

Deux échantillons, recueillis à Athesans, marquent 54° et 64° à l'hydrotimètre; ce sont des eaux très médiocres (origine: Keuper).

Deux autres échantillons, puisés au pont de Saint-Georges, entre Athesans et Mignavillers, l'un dans le Rognon et l'autre dans le ruisseau de la Noie, petit affluent de cette rivière, ont donné respectivement 14° et 26° (grès et calcaires).

Trois échantillons, provenant des fontaines publiques de Mignavillers, marquent tous trois 5° (Grès bigarré).

Un autre, provenant de la fontaine Vévies, située dans la forêt de Grange-la-Ville, indique 2° seulement (Grès bigarré).

L'eau de la fontaine publique de Grange-le-Bourg, qui provient de la même forêt, indique 3° (Grès bigarré).

Celle de la fontaine de l'Église de Grange-la-Ville, 25° (Muschelkalk). L'eau d'un puits particulier de Grange-le-Bourg, 25° également.

Enfin trois échantillons provenant, l'un du Scerf à Grange-le-Bourg, l'autre de cette même rivière à Senargent, et le troisième des fontaines publiques de Secenans, marquent respectivement 29°, 30° et 31°.

Du rapprochement de ces résultats et des données géologiques qui caractérisent les terrains traversés par les eaux soumises aux expériences, on peut tirer cette conclusion pratique :

1° Les eaux provenant des dolomies du Keuper, sont très incrustantes et peu propres aux usages domestiques;

2° Celles qui sortent du Grès vosgien ou du Grès bigarré sont d'une pureté remarquable; elles se prêtent parfaitement au savonnage et à tous les emplois industriels; pour la boisson, il

conviendrait qu'elles fussent un peu plus calcaires : elles sont fades à la dégustation;

3° Les eaux du Muschelkalk sont moins propres que celles du grès au savonnage et à la cuisson des légumes; par contre, elles sont très agréables en boisson, et leur fraîcheur ainsi que leur saveur est en général très appréciée.

VII. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. TINGRY, contrôleur des mines. (Extrait.)

1° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'une galène provenant de la Bouzaréah, remise par M. le Docteur Vincent. — L'échantillon est formé d'une gangue barytique jaune clair englobant de la galène compacte à petit grain.

Trouvé :

Plomb p. 100	dans le minerai brut	8,99
	dans le minerai trié	69,41
Argent à la tonne de plomb		2k,208

2° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'un échantillon provenant de la Bouzaréah, remis par M. le contrôleur principal Pesez. — L'échantillon est constitué par une galène à petites facettes, insérée sous forme de lames dans une gangue barytique. On a déterminé le plomb sur le minerai brut d'une part, et d'autre part sur le produit de la préparation d'un fragment par bocardage et triage. Des traces faibles de zinc ont été reconnues.

Trouvé :

Plomb p. 100	dans le minerai brut	46,32
	dans le minerai préparé	67,06
Argent à la tonne de plomb		0k,985

3° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'une galène provenant du Zaccar, remise par M. Bendon. — Échantillon lamellaire très friable, avec gangue barytique cristallisée.

Trouvé :

Plomb p. 100	58,60
Argent à la tonne de plomb	0k,356

4° *Calamine.* — Analyse de deux échantillons provenant de l'Ouarsenis (recherche de Sidi-Abd-el-Kader), remis par la société concessionnaire.

a. Masse concrétionnée d'un gris ocreux avec gangue siliceuse compacte d'un gris rougeâtre.

b. Masse aplatie et assez régulièrement stratifiée, de mêmes couleurs que l'échantillon *a*.

	a	*b*
Oxyde de zinc	61,15	58,35
Id. de plomb	»	traces
Id. de fer	traces	traces
Silice	37,55	41,10
Pertes et corps non dosés	1,30	0,55
	100,00	100,00

5° *Calamine*. — Essais de deux échantillons provenant du Kef (Tunisie), remis par M. le général en retraite Morel.

a. Masse compacte, homogène, régulièrement concrétionnée, de couleur jaune clair.

b. Échantillon mélangé de gangue calcaire, présentant des nodules grisâtres ; on y distingue un peu de blende et quelques mouches de galène.

Trouvé p. 100 :

	a	*b*
Zinc	23,80	21,00
Plomb	»	traces

6° *Minerai de cuivre*. — Échantillons provenant du Djebel-Mehariz et du pied du Djebel-Djara (Sud Oranais), remis par M. l'Ingénieur en chef des mines.

a. (Mehariz). — Roche compacte formée d'une masse de grès gris imprégnée de veinules alternées d'oxyde de fer siliceux, de malachite et d'azurite.

Trouvé :

Cuivre p. 100 7,25

b. (Mehariz). — Échantillon semblable au précédent, mais paraissant plus riche en azurite.

Trouvé :

Cuivre p. 100 18,30

c. (Mehariz). — Masse concrétionnée, brun noirâtre, avec forte proportion d'azurite et cristaux de cuivre pyriteux.

Carbonate de cuivre	31,05	Cuivre total : 13,95
Sulfure de cuivre	0,90	
Peroxyde de fer	16,10	
Oxyde de manganèse	0,75	
Silice et alumine	49,85	
Chaux et baryte	traces	
Pertes et corps non dosés	1,35	
	100,00	

d. (Djara). — Masse siliceuse formée de grès schistoïde avec rognons de silex compact, imprégnée d'oxyde de fer et de quelques veinules de malachite.

Trouvé :

Cuivre p. 100 2,60

e. (Djara). — Échantillon pareil au précédent, mais paraissant plus riche en malachite.

Trouvé :

Cuivre p. 100 3,85

f. (Djara). — Masse très siliceuse, très fortement imprégnée d'oxyde de fer, avec quelques cristaux de pyrite martiale.

Trouvé :

Cuivre . . . . . fortes traces

7° *Gypse*. — Analyse de quatre échantillons de gypse provenant des environs de Rovigo, remis par M. Martel.

a. Échantillon compact, blanc sale, à cassure saccharoïde.

b. Échantillon compact, blanc éclatant, à cassure saccharoïde.

c. Échantillon compact, à cassure finement cristalline, très légèrement rosée.

d. Masse amorphe très blanche englobant des cristaux en fer de lance.

Les échantillons *a* et *b* proviennent des Eaux chaudes, et les échantillons *c* et *d* de l'Oued-Timegras.

Dosé :

	a	*b*	*c*	*d*
Eau	0,021	0,061	0,017	0,033
Sulfate de chaux	0,844	0,799	0,675	0,748
Carbonate de chaux	traces	traces	0,223	0,096
Sulfate de magnésie	0,105	0,083	0,051	0,083
Oxyde de fer et alumine	traces faibles	»	»	fortes traces
Silice et corps non dosés	0,030	0,057	0,034	0,040
	1,000	1,000	1,000	1,000

VIII. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de M. SERGÈRE, contrôleur des mines. (Extrait.)

1° *Minerai de cuivre.* — Analyse d'un échantillon provenant de Tadergount, remis par M. l'Ingénieur des mines Jacob.

Minerai gris d'acier, à cassure inégale, d'éclat métalloïdique. On s'est attaché, pour la prise d'échantillon, à choisir une partie absolument exempte de gangue.

L'analyse a donné :

Soufre	26,64
Cuivre	35,86
Fer	8,00
Antimoine	23,92
Arsenic	2,74
Alumine	traces
Résidu insoluble dans les acides	0,86
Total	98,02

On a dosé en outre :

Argent à la tonne de minerai . . . . . 770 grammes.

Enfin l'absence du plomb et du zinc a été constatée.

2° *Roches phosphatées.* — Essai de quatre échantillons provenant du Dir de Tebessa, et remis par M. l'Ingénieur des mines Lantenois.

Ces échantillons ont l'aspect de calcaires plus ou moins siliceux.

On y a dosé p. 100 :

	a	*b*	*c*	*d*
Phosphate tribasique de chaux.	48,24	51,36	26,89	46,76

3° *Roches phosphatées.* — Essai de cinq échantillons provenant de la région de Tebessa, et remis par M. l'Ingénieur Lantenois.

Ces échantillons ont l'aspect de calcaires plus ou moins argileux.

On y a dosé p. 100 :

	a	*b*	*c*	*d*	*e*
Résidu insoluble dans les acides.	9,29	5,83	19,45	6,23	8,45
Phosphate tribasique de chaux . .	7,96	12,04	traces notables	11,81	10,98

4° *Roches phosphatées.* — Essai de neuf échantillons provenant des environs de Bordj R' dir, et remis par M. Grand, contrôleur des mines.

Ces échantillons ont l'aspect de calcaires noirs, légèrement bitumineux; ils ne donnent qu'un faible résidu aux acides.

Dosé p. 100 en phosphate tribasique de chaux :

a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
6,83	10,67	14,32	22,22	28,52	42,24	17,38	48,38	traces notables.

IX. — LABORATOIRE D'ORAN.

Travaux de M. PONCELET, contrôleur des mines. (Extrait.)

1° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'un échantillon provenant des environs de Saïda et remis par M. Canto.

L'échantillon est une galène à gangue de dolomie grise.

Trouvé :

Plomb p. 100	59,68
Argent à la tonne de plomb	361 grammes.

2° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'un échantillon provenant des environs de Marnia, remis par M. Francisco.

C'est une galène à facettes moyennes avec un peu de gangue calcaire.

Trouvé :

Plomb p. 100	76,70
Argent à la tonne de plomb	426 grammes.

3° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'un échantillon remis par M. Garcia ; provenance inconnue.

Trouvé :

Plomb p. 100	69,00
Argent à la tonne de plomb	662 grammes.

4° *Minerai de cuivre.* — Analyse de deux échantillons provenant du sud-est d'Aïn-Sefra, remis par M. l'Ingénieur des mines.

a. Échantillon venant de Delaa-Melabeth, formé par un mélange de malachite cristallisée et de peroxyde de fer et de manganèse.

b. Échantillon venant du Mehariz, formé par un mélange de malachite et d'azurite amorphe, avec pâte siliceuse, ferrifère et manganésifère.

Dosé p. 100 :

	a	*b*
Carbonate de cuivre	59,55	44,60
Peroxyde de fer et de manganèse	21,30	12,00
Carbonate de chaux	traces	»
Silice	18,70	42,50
	99,55	99,10

5° *Phosphates de chaux.* — Recherche du fluor dans divers échantillons de phosphate de chaux, provenant d'Inkermann, et remis par M. l'Ingénieur des mines.

Ces échantillons sont des phosphates concrétionnés très riches. L'absence du fluor a été constatée dans tous.

6° *Roches phosphatées.* — Recherche de l'acide phosphorique dans divers échantillons de calcaire à Mélobésies (Helvétien) provenant de la masse où est creusée la grotte contenant les phosphates exploités à Inkermann, remis par M. l'Ingénieur des mines.

Il a été fait des essais qualitatifs qui ont constaté dans tous les échantillons la présence de quantités notables d'acide phosphorique.

Cette recherche et la précédente avaient pour but de fournir des données propres à jeter quelque lumière sur la genèse du gîte de phosphates d'Inkermann et de ses similaires.

NOTE

SUR LE DOSAGE DU GRISOU

PAR

LES LIMITES D'INFLAMMABILITÉ

Par M. LEBRETON, Ingénieur des mines,
Professeur à l'École des mines de Saint-Étienne.

A côté des indicateurs portatifs de grisou qui rendent de très grands services dans les mines, il est indispensable d'avoir, soit pour former les observateurs, soit pour corriger les erreurs d'observation ou de réglage, le moyen de doser d'une manière à la fois rapide et sûre la teneur en grisou d'une ou plusieurs prises d'air.

L'un des procédés les plus simples et les plus pratiques est celui qui repose sur la fixité de la limite inférieure d'inflammabilité d'un mélange d'air et de grisou.

Principe du procédé. — Le principe même de ce procédé est dû à un ingénieur américain, M. Shaw, qui l'avait employé dans un appareil de construction complexe destiné au dosage automatique du grisou, mais son application comme procédé simple et précis au dosage courant du grisou est due à M. l'ingénieur en chef des mines Le Chatelier.

Je n'ai rien à ajouter, au point de vue théorique, à l'étude magistrale dans laquelle M. Le Chatelier a montré

ici même (*) l'exactitude absolue du principe, et donné les moyens de s'en servir pratiquement. Je rappellerai seulement ses conclusions que j'ai moi-même vérifiées à plusieurs reprises et qui peuvent se mettre sous la forme suivante :

Quand un mélange ne renfermant que de l'air et du formène atteint sa limite inférieure d'inflammabilité, la proportion de formène dans le mélange total est constante et égale à soixante millièmes : on dit alors que la limite d'inflammabilité du formène avec l'air pur est de soixante millièmes.

Quand un mélange renferme à la fois de l'air, du formène et un autre gaz combustible, du gaz d'éclairage par exemple, les deux gaz combustibles se comportent comme s'ils étaient seuls, et le mélange total atteint sa limite inférieure d'inflammabilité quand les deux gaz sont en proportions telles qu'ils forment deux mélanges exactement inflammables.

Les proportions n, n' des deux gaz dans le mélange, et leurs limites d'inflammabilité avec l'air pur N, N', sont alors liées par la relation

$$\frac{n}{N} + \frac{n'}{N'} = 1. \qquad (1)$$

n, N pour le formène, n', N' pour le gaz d'éclairage sont les volumes de ces gaz rapportés au volume total du mélange; le plus simple est de les exprimer en millièmes de ce volume total. Pour $n = 0$, n' devient exactement égal à N'; on peut dire par analogie que n' est la limite d'inflammabilité avec de l'air renfermant déjà une quantité n de formène, du gaz dont la limite d'inflammabilité avec l'air pur est N'.

(*) *Annales des mines*, 8e série, t. XIX, 1891. — *Annales de chimie et de physique*, 6e série, t. XXIX, 1893.

Dès lors, étant donné un air grisouteux non inflammable, il suffira, pour l'analyser, de déterminer la limite d'inflammabilité d'un gaz combustible employé comme réactif, successivement avec l'air pur (N') et avec l'air grisouteux (n'); avec ce dernier, le grisou remplace une partie du gaz réactif que l'on emploie en quantité moindre, et la différence (N' — n') entre les quantités employées dans les deux cas mesure précisément, à un facteur constant près, la quantité de grisou (n) apportée par l'air.

On a, en effet, d'après la relation (1) :

$$n = \frac{N}{N'}(N' - n').$$

Calcul de la teneur. — Le volume d'air grisouteux employé peut être quelconque : appelons-le V; puisqu'il renferme la quantité n de grisou, la teneur de cet air, c'est-à-dire la quantité de grisou renfermée dans le volume 1.000, sera :

$$t = n \cdot \frac{1.000}{V} = \frac{1.000}{V} \cdot \frac{N}{N'}(N' - n').$$

Si, comme on le fait d'ordinaire, on n'introduit dans la burette décrite par M. Le Chatelier que du gaz d'éclairage et de l'air grisouteux, le volume total a pour valeur 1.000 puisque n, n', N, N' sont exprimés en millièmes de ce même volume, $V = 1.000 - n'$ et

$$t = \frac{1000}{1000 - n'} \cdot \frac{N}{N'}(N' - n') = A(N' - n').$$

Il faut donc quand on a déterminé n' faire un calcul de réduction ou avoir un barème pour les diverses valeurs de N' et n'. Il y a là une longueur et une cause d'erreur que l'on peut éviter de l'une des deux manières suivantes :

1° *Constance approximative du coefficient de réduction.* — Le coefficient $A = \frac{N}{N'}\frac{1.000}{1.000 - n'}$ par lequel il faut multiplier la différence $(N' - n')$ pour avoir la teneur peut être considéré pratiquement comme constant et égal à huit dixièmes.

Les valeurs exactes sont données par le tableau suivant, dans lequel on a pris $N = 60$, le grisou pouvant être considéré comme identique au formène; si cette identité n'était pas complète, le procédé reviendrait à évaluer le grisou en formène, ce qui est très suffisant, car l'important est surtout de déterminer le degré d'inflammabilité de l'air essayé par rapport à un type connu :

$N' - n'$	N'						
	79	80	81	82	83	84	85
Millièmes.							
1	0,8238	0,8143	0,8051	0,7962	0,7875	0,7788	0,7705
5	0,8202	0,8108	0,8016	0,7927	0,7841	0,7755	0,7672
10	0,8158	0,8065	0,7973	0,7884	0,7799	0,7713	0,7631
15	0,8114	0,8021	0,7930	0,7842	0,7756	0,7671	0,7590
20	0,8078	0,7979	0,7888	0,7801	0,7715	0,7630	0,7549
25	0,8047	0,7979	0,7846	0,7759	0,7674	0,7590	0,7508
30	0,7987	0,7895	0,7805	0,7718	0,7634	0,7550	0,7469
Moyennes . . .	0,8118	0,8027	0,7929	0,7842	0,7756	0,7671	0,7589

Il n'y a évidemment aucun inconvénient à adopter pratiquement pour le coefficient A la valeur fixe 0,80. N' varie ordinairement entre 79 et 82 millièmes et A varie de 0,82 à 0,77; en prenant 0,80, on commettra donc une erreur qui ne dépassera pas ordinairement 0,02 ou 0,03 soit, pour $N' - n' = 30$ millièmes, une erreur de 0,9 millièmes, erreur pratiquement sans importance pour une teneur réelle de 23 millièmes. On voit d'ailleurs qu'avec le coefficient 0,80 la teneur sera calculée par excès. Si N' atteignait 84 ou 85 millièmes, l'erreur, toujours par excès, serait également sans importance pratique.

Je crois donc qu'on peut fort bien se contenter pour la pratique de prendre $A = 0,80$.

Dès lors si un gaz d'éclairage, dont la limite d'inflammabilité dans l'air pur est 80 millièmes, a pour nouvelle limite avec de l'air grisouteux 75 millièmes, la teneur de l'air essayé est les 8 dixièmes de 5, soit 4 millièmes.

2° *Burette à double graduation.* — On peut encore opérer de manière que la teneur soit donnée exactement par la différence $N' - n'$.

Cette teneur a en effet pour expression :

$$t = n \times \frac{1000}{V} = \frac{N}{N'} \times \frac{1000}{V}(N' - n') = B(N' - n');$$

il suffit donc de déterminer V par la condition que $B = 1$, c'est-à-dire $V = 1.000\frac{N}{N'}$.

Pour le gaz d'éclairage, N' peut varier de 79 à 83 et on trouve :

Pour $N' = 79$	$V = 759$
$= 80$	$V = 750$
$= 81$	$V = 740,7$
$= 82$	$V = 731,7$
$= 83$	$V = 722,7$

Il faut donc employer un volume d'air grisouteux variable suivant la limite d'inflammabilité du gaz réactif.

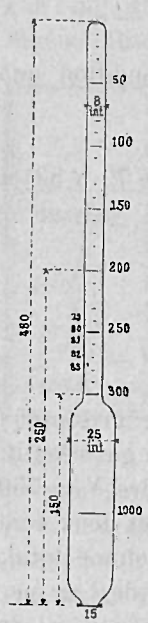
D'autre part pour $N = 80$, il faudra prendre $V = 750$ et n' sera au maximum égal à 80, le total des deux sera donc au maximum 830; pour arriver au volume total, qui est 1.000, il faudra donc compléter avec de l'air pur exempt de grisou, de gaz d'éclairage et en général de toute vapeur combustible.

Pour faire commodément cette addition, j'ai modifié de la manière suivante la burette de M. Le Chatelier. Le tube mesureur AB est divisé en millièmes du volume total et comprend 300 divisions. Il porte une double

graduation : à droite, la graduation en millièmes ; à gauche, les indications suivantes :

79	en face de	241
80	—	250
81	—	260
82	—	269
83	—	277

Entre les traits marqués 79, 80, 81, etc., et le trait 1.000, les volumes sont respectivement 759, 750, etc., c'est-à-dire ceux que nous avons calculés ci-dessus ; l'air grisouteux employé devra donc être mesuré entre 1.000 et chacun de ces traits selon que la limite du gaz d'éclairage sera 79, 80, 81, etc.



Dès lors voici comment on opère : on mesure à la partie supérieure du tube gradué le gaz d'éclairage introduit, soit 75. Sa limite étant par exemple 80, entre 75 et le trait marqué 80 à gauche, on introduit de l'air pur, et ensuite jusqu'au trait 1.000 l'air grisouteux.

Burette de 50 *centimètres cubes.* — J'ai modifié, en outre, la burette de M. Le Chatelier dans ses dimensions. Au lieu de lui donner une capacité de 200 centimètres cubes, ce qui exige pour pouvoir faire les 4 ou 5 essais qui sont nécessaires des prises de gaz d'au moins 1 litre, j'ai réduit sa capacité à 50 centimètres cubes ; j'ai vérifié qu'avec cette capacité, moyennant un diamètre suffisant (25 millimètres) dans la partie cylindrique, les gaz brûlent exactement dans les mêmes conditions que dans la burette de 200 centimètres cubes. L'avantage de la burette de 50 centimètres cubes est que, pour faire 5 essais, toujours suffisants pour déterminer la teneur, il

suffit de 250 centimètres cubes d'air grisouteux ; et même, si on procède comme je l'ai indiqué ci-dessus avec introduction d'air, il suffit pour chaque opération d'environ $\frac{3}{4}50 = 38$ à 40 centimètres cubes, soit pour 5 de 200 centimètres cubes. Il suffira donc dans tous les cas, de prises d'air de 250 centimètres cubes recueillies dans des flacons peu volumineux dont on peut facilement transporter plusieurs, même pleins d'eau, dans une tournée, alors qu'il est impossible de le faire avec des flacons de 1 litre ou 1 litre et demi. On fera bien de prendre des flacons de section rectangulaire faciles à placer l'un à côté de l'autre dans un petit sac en cuir.

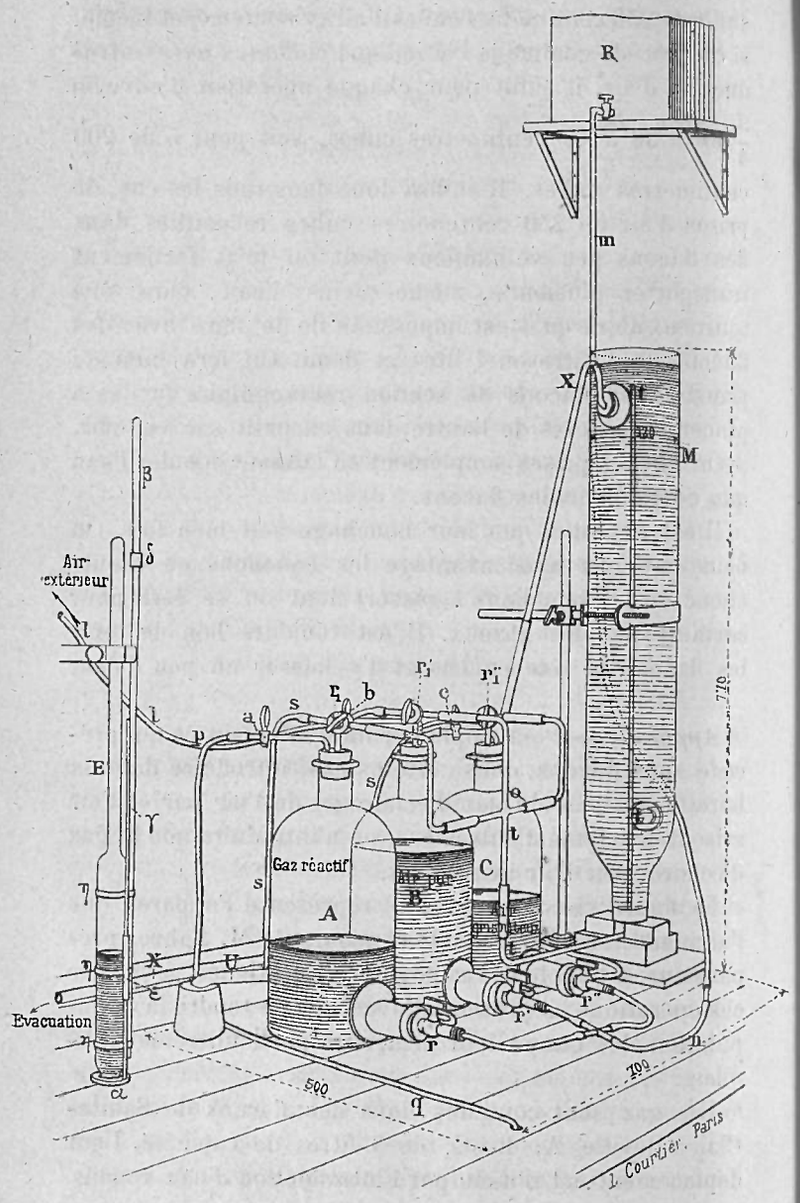
On fait les prises simplement en laissant écouler l'eau que contiennent les flacons.

Il est essentiel que leur bouchage soit bien fait. On peut employer avec avantage les bouchons en caoutchouc ou les bouchons à ressort dont on se sert pour certains liquides gazeux. Il est toujours bon de tenir les flacons la tête en bas et d'y laisser un peu d'eau.

Appareil. — Pour appliquer intégralement ce qui précède nous devons, dans certains cas, introduire dans la burette modifiée du gaz d'éclairage, de l'air pur et l'air grisouteux. Dans d'autres cas, on n'introduira que le gaz d'éclairage et l'air grisouteux.

La figure ci-contre (p. 296) représente l'appareil que j'ai monté, en 1892, avec le concours de M. Fabre, préparateur, à l'École des mines de Saint-Étienne pour faire ces opérations ; il présente l'avantage de rendre la manipulation des gaz et leur mesurage particulièrement faciles.

Les gaz sont contenus dans des flacons de Sainte-Claire Deville A, B, C, de 3 litres de capacité. Leur déplacement est obtenu par l'introduction d'eau venant,



au moyen d'un caoutchouc *mn* et des robinets à trois voies en cuivre r, r', r'', d'un réservoir de 50 litres environ R placé à $1^m,50$ au-dessus de la table. Chacun de ces robinets permet de mettre le flacon correspondant en communication soit avec l'arrivée d'eau, et le gaz contenu est alors en pression, soit avec une évacuation commune, et le flacon peut alors être rempli par aspiration si on le met en communication avec l'air ou un réservoir de gaz.

La sortie des gaz est commandée par les robinets à trois voies en verre, r_1, r'_1, r''_1, placés à la partie supérieure des flacons. La branche médiane est engagée dans le flacon, les deux branches horizontales communiquent, l'une en avant par le croisement à quatre voies *o* avec le tube capillaire deux fois recourbé *t*, *t*, *t*, dont la grande branche occupe l'axe du manchon M plein d'eau et débouche à quelques centimètres au-dessous de la surface libre ; l'autre en arrière par un caoutchouc tel que *ss* avec un tube collecteur U. Chacun de ces robinets permet soit d'envoyer le gaz à travers le tube *tt* et de le dégager dans le manchon M sous l'eau, au voisinage de la surface libre, soit de l'envoyer en arrière, soit d'isoler le flacon en faisant communiquer les deux branches horizontales et alors l'eau du manchon pénètre dans le tube *tt*, le remplit en chassant le gaz et s'écoule par le tube *ss* dans le collecteur U et de là à l'évacuation, soit enfin d'isoler les trois branches les unes des autres.

Le flacon A est en communication par un robinet simple et un tube de plomb *pq* avec une conduite de gaz d'éclairage, le flacon B par le robinet *b* et le caoutchouc *ll* avec l'air extérieur ; on peut donc les remplir l'un d'air, l'autre de gaz. Le flacon C peut de même avoir un robinet *c* analogue auquel on adapte un caoutchouc que l'on introduit dans le flacon de prise d'essai renversé sur l'eau dans une petite cuve en verre ; mais si le flacon est assez

petit, ce qui est le cas quand on emploie la burette de 50 centimètres cubes, il est plus simple de le renverser dans le manchon M, d'en coiffer l'extrémité du tube *t t* et en mettant le robinet r'' à l'évacuation (*le flacon* C *préalablement rempli d'eau*) de faire passer la prise de gaz dans C par aspiration.

Le manchon M à deux tubulures, qui a 12 centimètres de diamètre intérieur, peut être mis en communication permanente ou intermittente avec le réservoir R par un caoutchouc branché sur *mm*; le trop-plein XX règle la hauteur du plan d'eau.

Le tout est disposé sur une table; la surface libre dans le manchon est à la hauteur de l'œil de l'opérateur.

Montage de la burette. — La burette est représentée en E; sa forme et sa graduation sont celles qui ont été indiquées ci-dessus. Elle est montée avec une baguette de verre β fixée au moyen de bagues en caoutchouc $\eta\eta\eta$ et tenue à distance de la partie étroite de la burette par le bouchon de caoutchouc δ. Cette baguette de verre sert à plonger la burette dans le manchon et à la sortir sans la saisir avec les doigts, ce qui aurait pour conséquence d'échauffer le gaz contenu et de fausser les lectures.

Pour fermer la burette au moment où elle sort de l'eau du manchon, il est impossible de se servir du pouce à cause de la hauteur même et de l'étroitesse du manchon. On se sert de la fermeture α qui est constituée par un disque de laiton percé en son centre d'un trou un peu supérieur à l'ouverture de la burette et recouvert d'un doigt en caoutchouc un peu distendu. Ce disque α est fixé à l'extrémité d'une tige en laiton γ qui porte en ε une saillie (*on l'obtient très simplement avec un morceau de caoutchouc épais dans lequel on force un morceau de laiton ou de baguette en verre*) dont la position est réglée de manière qu'avec trois ou quatre petits bracelets en

caoutchouc passés sur la tige β et la tige γ et arrêtés en haut à la première bague η, en bas à la saillie ε, on obtienne une tension suffisante pour appliquer fortement le disque α contre l'ouverture de la burette. Quand les choses sont convenablement réglées, la fermeture ainsi obtenue est parfaitement étanche. Il est toujours prudent, cependant, quand on agite le mélange pour le rendre homogène, d'appuyer le pouce sur le caoutchouc qui ferme l'ouverture.

Exécution d'un essai. — Pour faire un essai, on remplit successivement les trois flacons ABC avec du gaz d'éclairage, de l'air pur et l'air grisouteux. On remplit ensuite tous les tubes d'eau en mettant les robinets r_1, r'_1, r''_1 horizontaux d'abord, puis à 45° pour isoler l'avant et l'arrière des tubes. On ouvre ensuite la burette en séparant le disque α de l'ouverture et on l'enfonce dans le manchon M en en coiffant le tube *tt*; en même temps on met le robinet r_1 horizontal, le flacon A restant isolé. L'air qui remplit la burette s'écoule alors de lui-même à travers le tube *tt*, la burette se remplit d'eau, et quand tout l'air est expulsé l'eau remplit le tube et arrive en *ss*.

On soulève alors la burette de manière que le trait auquel on veut faire affleurer le gaz, par exemple 80, soit dans le plan de la surface libre, ou plutôt à 1 ou 2 millimètres au-dessous, et on ouvre le robinet r_1 de manière à envoyer le gaz dans la burette. On arrive très aisément à régler l'écoulement de manière à obtenir, si l'on veut, le dégagement bulle à bulle; les bulles que l'on obtient sont assez petites pour que, avec la burette de 50 centimètres cubes, le millième corresponde à deux ou trois bulles. Il est même plus simple d'introduire d'abord un léger excès de gaz, puis de soulever la burette de manière que l'extrémité du tube plonge dans l'eau, et de replacer horizontalement le robinet r_1, en isolant A; l'eau remplit alors

le tube *tt* et s'écoule en *ss*. On baisse alors la burette de manière que le ménisque de l'eau qu'elle contient vienne toucher l'orifice du tube *tt*, l'écoulement de l'eau dans le tube entraîne une petite quantité de gaz qu'il est très facile de régler par l'enfoncement de la burette ; en répétant cette opération plusieurs fois, on arrive très rapidement à faire évacuer l'excès de gaz et à obtenir exactement le volume cherché mesuré dans le plan de la surface libre. Il est toutefois nécessaire, pour que cet entraînement se fasse bien, que le diamètre intérieur du tube *tt* soit d'au moins $1^{mm},5$ (son diamètre extérieur étant de 6 millimètres au plus) et que les coudes ne soient pas trop brusques, sinon la capillarité produit une grande résistance et paralyse le mouvement.

Quand ce mesurage est terminé, le tube *tt* est plein d'eau ; on met r_1 à 45°, et en ouvrant r'_1 on envoie dans la burette de l'air pur jusqu'au trait de la graduation de gauche correspondant à la limite d'inflammabilité 80, 81, 82. Ici l'exactitude absolue est moins importante que pour le mesurage du gaz et on peut, sans inconvénient, obtenir l'affleurement à 1 millième près.

On laisse de nouveau le tube *tt* se remplir d'eau et on achève le remplissage avec l'air grisouteux.

Dans tous ces mesurages, il est essentiel d'attendre que l'eau se soit bien égouttée le long des parois, ce qui se fait d'ailleurs rapidement.

On voit qu'avec la disposition de l'appareil et la manière dont se fait l'opération, les fuites qui peuvent exister aux robinets ou aux raccords, difficiles à éviter, (bien qu'on pourrait cependant avoir une rampe entièrement soudée) n'ont aucune influence sur l'exactitude des résultats.

On soulève alors la burette au-dessus du tube *tt*, on la plonge un peu dans l'eau pour mettre le gaz sous une légère pression et on la ferme avec la tige γ et la fermeture α.

Il ne reste plus qu'à l'agiter doucement pour mélanger intimement les gaz et à essayer l'inflammation.

Pour cela, on renverse la burette dans la main gauche ou bien dans les branches d'un support à pince ; on fait glisser rapidement avec le pouce en la soulevant légèrement la fermeture α, en même temps qu'on présente à *l'entrée de la burette* et *sans pénétrer à plus de* 1 *centimètre* un fragment de pierre ponce imbibé d'alcool et allumé à une veilleuse (*). J'ai trouvé que ce mode d'inflammation qui donne une flamme pâle est préférable à l'emploi d'une allumette dont la flamme est trop éclairante. Il est bon aussi de se placer dans un endroit obscur ; une caisse peinte en noir à l'intérieur suffit.

Toute cette opération est extrêmement simple et rapide et se fait sans toucher à l'eau.

Seul l'allumage demande un peu d'habitude et un tour de main que l'on acquiert du reste assez rapidement.

Avec un peu d'exercice, on arrive à faire aisément un dosage complet, comprenant quatre ou cinq essais en dix minutes. Je suppose, bien entendu, que la limite d'inflammabilité du gaz d'éclairage a été préalablement déterminée. Je me suis assuré que le contact du gaz d'éclairage et de l'eau dans le flacon A n'a aucun inconvénient ; après quatre heures, dans un essai que j'ai fait, la limite était restée la même. Après avoir employé une couche d'huile à la surface de l'eau, j'y ai renoncé.

Pour se mettre à l'abri des perturbations dues à l'acide carbonique, dont il serait difficile de tenir compte, il est bon, quand les prises de gaz peuvent en contenir en proportion notable, de s'en débarrasser en les traitant au préalable par l'eau de chaux ou une lessive de potasse.

(*) La limite est atteinte quand la flamme descend jusqu'au niveau de l'eau contenue dans l'éprouvette ; on la détermine facilement à 1 millième près, en trois ou quatre essais espacés d'abord de 4 en 4, puis de 2 en 2 millièmes.

Simplifications possibles. — Il est évident que l'on peut, tout en conservant le même principe, réduire les dimensions de l'appareil; avec la burette de 50 centimètres cubes par exemple, des flacons de 1 litre au lieu de 3 suffiraient parfaitement; en renonçant à la double graduation dont j'ai parlé et en admettant pour le coefficient de réduction la valeur constante 0,8, ce qui, pour la pratique ordinaire, est parfaitement suffisant, on peut réduire la longueur de la burette, le tube gradué n'ayant plus pour volume que 100 millièmes du volume total, le manchon M est alors plus court, et deux flacons suffisent au lieu de trois. On conçoit même qu'on pourrait facilement construire sur cette donnée un appareil portatif dans le genre de l'appareil Orsat, mais je ne crois pas qu'il y ait à le faire un réel intérêt : il sera toujours plus simple de transporter les flacons renfermant les prises de gaz plutôt que l'appareil lui-même.

Conclusions. — Quoi qu'il en soit, l'appareil que je viens de décrire est très simple, peu encombrant, d'une manipulation très facile. Il ne demande chez celui qui s'en sert qu'un peu de soin et d'adresse, sans exiger aucune connaissance spéciale. Il est enfin peu onéreux, car tout le monde peut, avec les indications qui précèdent, le monter facilement, en simplifiant même quelques dispositions de détail.

Plusieurs Compagnies de mines du bassin de la Loire l'ont adopté et l'emploient depuis plus d'un an concurremment avec la lampe Chesneau qui sert à faire les dosages à l'intérieur des travaux.

Saint-Étienne, le 30 avril 1894.

DISCOURS

PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES

DE M. ERNEST MALLARD

MEMBRE DE L'INSTITUT, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

le 9 juillet 1894

DISCOURS DE M. DAUBRÉE

Membre de l'Institut, Inspecteur général des mines en retraite,

AU NOM DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

Messieurs,

Au nom de l'Académie des Sciences, j'apporte un tribut de vifs regrets au confrère aimé qui nous est ravi par un coup foudroyant et des plus inattendus.

Un petit nombre d'années avait suffi pour que, à la suite de travaux pleins d'originalité, Mallard arrivât à compter parmi les principaux minéralogistes de notre époque. C'est seulement en 1872, lorsqu'il eut quitté son enseignement de l'École de Saint-Étienne pour venir professer la minéralogie à l'École Supérieure des Mines de Paris, qu'il lui fut possible de se consacrer entièrement à cette science.

Ses découvertes dans le domaine de la cristallographie se succédèrent dès lors rapidement; elles lui furent inspirées par les théories de Bravais, comme il se plaisait à le reconnaître, dans ses leçons et dans ses écrits.

Haüy avait édifié les grandes lois découvertes par son génie sur une hypothèse physique, relative à la forme des molécules. Plus tard, on crut devoir se soustraire à toute hypothèse pour ne considérer dans la cristallographie que de simples rapports angulaires et des lois géométriques ; alors des calculs élégants et rapides succédèrent à d'autres qui étaient longs et pénibles. Cependant la forme qui caractérise les cristaux n'est que l'expression des propriétés les plus intimes de la matière qui les compose. C'était donc restreindre la science et peut-être la frapper de stérilité que de se borner à l'étude de polyèdres cristallins, sans en rechercher la signification physique. Déjà Delafosse, poursuivant les idées de son maître Haüy, avait fait une heureuse tentative dans ce but, lorsqu'il donna une explication de l'hémiédrie. La belle conception de Bravais permit de pénétrer par une voie rationnelle dans le mystère de la structure intérieure des corps solides. « Les faits cristallographiques, disait Mallard en parlant de la théorie de son illustre prédécesseur, ne peuvent pas plus lui échapper qu'un corps en mouvement aux lois de la mécanique. Elle a un caractère de nécessité. »

Bravais a été enlevé à l'Académie, il y a une trentaine d'années, jeune encore, sans avoir eu le temps de coordonner ses lumineux mémoires. Aussi ses vues sur les réseaux et les édifices moléculaires n'étaient-elles pas appréciées comme elles auraient dû l'être, avant que Mallard en fît ressortir toute la fécondité par ses habiles inductions. Notre regretté confrère fit plus : il exposa méthodiquement tout le système dans son important traité en deux volumes de cristallographie géométrique et physique. Malheureusement cette œuvre de Mallard est inachevée et nous resterons privés de son troisième volume qui eût été précieux ; car il était destiné à exposer l'ensemble des belles découvertes de l'auteur.

Bravais n'avait considéré que des milieux homogènes ; son éminent continuateur, tout en conservant l'idée fondamentale de la constitution réticulaire des cristaux, la compléta par la notion d'orientations différentes dans les réseaux d'un même cristal. Cette conception aussi simple qu'ingénieuse fit rentrer dans la théorie toute une série de phénomènes qui semblaient devoir lui échapper, entre autres la polarisation rotatoire des cristaux.

Ces découvertes touchent à deux questions d'ordre très élevé et des plus abstraites.

Dans le mémoire par lequel il a débuté, Mallard s'était proposé de rechercher une explication des anomalies optiques que présentent un grand nombre de substances cristallisées. Jusqu'alors les minéralogistes admettaient que la symétrie intérieure des cristaux est toujours d'accord avec celle du polyèdre extérieur et que l'existence de l'une entraîne celle de l'autre. En combinant, comme l'avait fait Sénarmont, les études cristallographiques avec celle des propriétés optiques, Mallard prouva qu'il n'en est pas ainsi.

Ce sujet avait déjà été traité par de grands physiciens, mais pour des cas particuliers ; notre confrère arriva à cette conclusion à la fois nouvelle et hardie : qu'il y a souvent désaccord entre la symétrie intérieure et la symétrie extérieure des cristaux. D'abord fortement attaquée, surtout à l'étranger, comme il arrive si souvent pour les théories nouvelles, elle est aujourd'hui très généralement acceptée. Elle repose sur les caractères de structure que l'auteur a désignés sous le nom de groupements *pseudo-symétriques*.

Avant Mallard, ces groupements étaient à peine connus, et on le conçoit ; car, d'ordinaire, ils ne se manifestent pas dans la forme extérieure ; ils se décèlent seulement par des phénomènes optiques intérieurs.

Des recherches, aussi en très grand nombre, ont établi

les lois auxquelles obéissent d'autres groupements géométriques des cristaux, nommés *macles*, groupements très fréquents dans la nature et dont beaucoup constituent même un phénomène constant.

Il fallait un puissant esprit pour rattacher tant d'anomalies apparentes aux lois générales de la symétrie qu'elles semblaient contredire, absolument comme les astronomes ont su voir dans les perturbations planétaires la preuve décisive de la gravitation universelle. C'est une vue de génie. Elle a causé un mouvement d'idées et de recherches tant en France qu'à l'étranger.

J'éprouve le regret de devoir passer sous silence bien d'autres découvertes : ses travaux sur l'isomorphisme, le polymorphisme, la réflexion totale cristalline, la théorie de la mesure de l'angle des axes optiques, l'action de la chaleur dans les cristaux portent tous l'empreinte d'une haute et lucide intelligence.

A de profondes connaissances minéralogiques, Mallard joignait celles d'un géologue consommé, ainsi qu'en témoignent les cartes géologiques à grande échelle qu'il a tracées pour deux de nos départements, la Creuse et la Haute-Vienne.

J'ajouterai que les excursions faites à cette occasion le conduisirent à une découverte archéologique d'un grand intérêt : celle de nombreuses excavations pratiquées par les Gaulois, à Montebras et dans d'autres localités du Limousin et de la Marche, sur de faibles indices de minerais d'étain, substance si difficile à découvrir, qu'aujourd'hui encore ces gisements seraient restés peut-être inconnus sans la surprenante perspicacité de nos ancêtres.

Un voyage rapide au Chili, en compagnie de M. Fuchs, conduisit ces deux savants à reconstituer la curieuse histoire physique de la région septentrionale de ce pays, depuis la période quaternaire.

A la suite d'observations sur les lampes de sûreté

employées dans les mines, Mallard exécuta à Saint-Étienne d'intéressantes expériences sur la vitesse avec avec laquelle se propage l'inflammation dans un mélange gazeux détonant. Plus tard, en raison de sa compétence bien établie, il fut chargé, par la Commission du grisou et par celle des substances explosives, des recherches expérimentales relatives à la sécurité des mines. Ces études, entreprises avec la collaboration de M. Le Chatelier et d'autres ingénieurs, ont eu des conséquences pratiques sur les conditions auxquelles doivent satisfaire les lampes de sûreté et les explosifs des mineurs. Elles ont aussi fourni des résultats d'une grande importance scientifique, quant aux températures d'inflammation et de combustion, aux pressions explosives, aux chaleurs spécifiques et aux dissociations.

Tous les problèmes qu'a abordés Mallard, il les a éclairés d'une lumière inattendue. Outre la supériorité de son intelligence, il savait faire usage de précieuses connaissances dans les sciences mathématiques et physiques.

Comment ne pas l'ajouter ? Son caractère était à la hauteur de son esprit. Sa bienveillance, son amabilité, sa loyauté, son extrême modestie attiraient à lui tous ceux qui venaient à le connaître : de telles qualités lui ont valu de toutes parts les plus vives sympathies.

Élu à l'Académie des Sciences, pour la section de minéralogie, à la succession d'Hébert, en 1890, à l'âge de 57 ans, Mallard n'a passé que bien peu d'années parmi nous ; mais tous nous l'avons assez connu pour conserver fidèlement son souvenir, entouré de haute estime et de sincères regrets.

DISCOURS DE M. LINDER

Inspecteur général des mines, Vice-Président du Conseil général des mines,

AU NOM DU CORPS DES MINES
ET DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

Messieurs,

La mort qui nous réunit autour de cette tombe, ne frappe pas seulement le Corps des Mines, auquel elle enlève un de ses membres les plus éminents et les plus respectés ; elle ravit à notre pays un savant de premier ordre, à la science un des penseurs les plus profonds du siècle.

Rien n'annonçait ce coup funeste.

Il y a trois jours à peine, Mallard, de retour d'une inspection dans les départements de l'Est, siégeait au Conseil général des mines ; il prenait une part active à ses délibérations, apportant dans la discussion la clarté et la rectitude habituelles de son jugement; la séance close, il nous quittait, le sourire aux lèvres, avec la pensée d'un revoir prochain. Et peu d'heures après, sa belle intelligence, si lucide et si large, était éteinte à jamais ; son âme, remontant à la source infinie de toutes choses, avait fui les misères d'ici-bas !

Mais, si l'homme a cessé de vivre, sa mémoire reste vivace ; elle laisse dans les fastes de la science et de l'industrie une trace des plus brillantes; dans le cœur de ceux pour lesquels le sentiment du devoir n'est pas un vain mot, l'exemple d'une vie modeste, toute d'honneur, de dévouement et de travail.

Mallard (François-Ernest) est né, le 4 février 1833, à Châteauneuf-sur-Cher. Entré à l'École Polytechnique en 1851, il en est sorti, deux ans après, dans les Mines.

Dès son début dans la carrière active (*), comme élève-ingénieur chargé du sous-arrondissement minéralogique de Guéret, ses états de service font pressentir ce qu'il sera plus tard : ses chefs signalent son intelligence et son jugement, ses aptitudes technique et scientifique, la maturité précoce qu'il apporte dans l'examen des affaires.

Appelé, en 1859, à professer l'exploitation des mines, la géologie, la minéralogie et la physique à l'École des mineurs de Saint-Étienne, il met à profit son long séjour dans l'important centre minier et métallurgique qu'il habite, pour se familiariser avec les questions industrielles les plus variées et les plus délicates et pour acquérir l'expérience technique, sans laquelle nul n'est vraiment ingénieur. En 1867, il fait paraître successivement des cartes géologiques de la Haute-Vienne et de la Creuse, qui ont figuré avec honneur à l'Exposition Universelle de l'époque ; une étude très intéressante sur des mines d'étain qu'il avait découvertes dans le Limousin et la Marche, puis un mémoire sur les machines à air comprimé.

L'année suivante, des conférences publiques, qu'il inaugura, par ordre du Ministre, sur les accidents de mines, mirent en relief son rare talent d'exposition, sa profonde connaissance de l'art des mines, son tact et sa prudence. Il procédait, à ce moment même, aux premières expériences sérieuses qu'on ait faites en France relativement au grisou. C'est Mallard en effet qui, le premier, a compris l'importance de pareilles recherches exécutées avec précision et en s'éclairant des lumières de la science; c'est sur son initiative que la Société de l'Industrie minérale a entrepris des essais ; c'est lui encore qui, dans un rapport devenu classique, a prouvé les dangers de l'emploi de la lampe de Davy dans les mines à

(*) En juin 1856.

grisou et fait connaître les améliorations à introduire dans la construction des lampes de sûreté.

Le 11 août 1869, la croix de chevalier de la Légion d'honneur récompensait les travaux exceptionnels du jeune ingénieur, qui comptait alors douze ans de services actifs.

Quelques mois après sonnait le glas funèbre de nos désastres. L'ennemi avait franchi la frontière, foulait nos champs et s'avançait vers Paris. Officiers et soldats avaient été appelés pour le combattre ; les manufactures d'armes, les poudreries et les capsuleries avaient perdu la plus grande partie de leur personnel dirigeant et l'on avait dû, pour suppléer à l'insuffisance, faire appel au dévouement des ingénieurs de l'État.

Mallard venait de rentrer du Chili, où il avait été envoyé en mission pour en étudier les gisements d'argent. Sur la demande du Ministre de la guerre, il fut adjoint au directeur de la manufacture d'armes de Saint-Étienne, dont il avait antérieurement étudié les détails de fabrication ; mais, à peine installé, il fut envoyé à l'armée de l'Est, pour prendre le commandement du Génie civil du 18e corps, sous les ordres du général Billot. Après la bataille de Villersexel, à laquelle ses fonctions le firent assister en spectateur anxieux, il suivit l'armée dans sa retraite en Suisse, d'où il ramena sa troupe à Grenoble avec l'autorisation des autorités fédérales. Douloureuse campagne, dont il se rappelait avec tristesse les jours d'amertume et dont il évitait de parler, même à ses meilleurs amis, tant le souvenir de la défaite subie lui était cruel !

Mallard a quitté Saint-Étienne, en octobre 1872, pour aller occuper à l'École nationale supérieure des Mines la chaire de minéralogie, laissée vacante par la nomination de M. Daubrée à la direction de cet établissement. Son cours ouvert au public le mit bientôt hors de pair, à la

fois par le jour nouveau sous lequel il envisageait l'enseignement de la cristallographie et de la minéralogie descriptive, et par la clarté de sa discussion, sa hauteur de vues, ses connaissances étendues dans toutes les branches scientifiques auxquelles il avait à toucher. De cette époque date l'éclosion de sa réputation, jusqu'alors confinée par son extrême modestie dans le cercle de ses amis et de ses collaborateurs intimes ; mais elle grandit vite avec les nombreux et importants mémoires qu'il publia successivement pendant plusieurs années et prit son essor complet avec son traité de cristallographie géométrique et physique, œuvre capitale, qui lui a ouvert les portes de l'Institut, en 1890, et dont je laisse à d'autres le soin de faire l'éloge.

La science pure n'était pas seule à absorber le temps de Mallard ; il s'occupait avec non moins d'activité des questions d'application, qui sont du domaine de l'ingénieur des mines. En 1878, il avait été nommé membre de la *Commission chargée d'étudier les moyens propres à prévenir les explosions de grisou*, qu'avait instituée la loi du 26 mars 1877. Les travaux, qu'il avait exécutés à Saint-Étienne sur ce sujet, lui firent confier la partie expérimentale des études de la Commission, mission pour laquelle on lui adjoignit plus tard M. H. Le Chatelier, professeur de chimie générale à l'École des mines. Les expériences des deux collaborateurs sur la température d'inflammation du grisou, la vitesse avec laquelle l'inflammation se propage, la température de combustion, le rôle des poussières charbonneuses dans les mines à grisou, les ont conduits à des découvertes d'une haute portée scientifique et qui ont eu les conséquences pratiques les plus importantes pour la sécurité des mines.

Mallard a pris également une part prépondérante aux travaux de la Commission instituée, en 1887, *pour étudier l'emploi des explosifs dans les mines à grisou*, ainsi

qu'aux expériences faites dans ce but à la poudrerie de Sevran-Livry par une délégation de la *Commission des substances explosives*. Avec la collaboration de MM. Le Chatelier et Bruneau, il reconnut que les explosifs alors connus enflammaient tous les mélanges dangereux de grisou et d'air, et il dirigea aussitôt les recherches vers la découverte d'explosifs nouveaux d'un emploi plus sûr. L'idée de se servir, à cet effet, de l'azotate d'ammoniaque lui donna la clé du problème, dont la solution vint ajouter à la dette de reconnaissance que lui devaient déjà les ouvriers, les ingénieurs et les exploitants des houillères.

Mallard était inspecteur général depuis 1886, officier de la Légion d'honneur depuis 1888. Le 14 avril 1890, il avait été chargé, en outre de ses autres fonctions, de l'inspection de la division minéralogique du Nord-Est, et il siégeait, en cette qualité, au Conseil général des mines; là, comme partout ailleurs, ses rares qualités lui donnèrent promptement une grande autorité, qui le désignait d'avance pour occuper un jour le fauteuil de la présidence.

Vous venez d'entendre, Messieurs, ce qu'a été la vie de l'ingénieur, du savant, du fonctionnaire. Que dirai-je de l'homme?

Il était la bonté même. D'une très grande modestie, il fuyait avec soin toutes ces manifestations extérieures, auxquelles le public croit reconnaître un homme supérieur. Intelligence ouverte aux questions les plus étrangères à ses occupations, il savait résister à l'esprit de routine, auquel les plus distingués se laissent parfois entraîner, et il n'hésitait jamais à défendre avec fermeté ce qui lui semblait vrai ou devoir réaliser un progrès réel. L'opinion des autres à cet égard lui importait peu. Fonctionnaire intègre, sa conscience lui dictait son devoir; grand savant, il étudiait la science pour la satisfaction qu'elle lui donnait, non pour les avantages matériels ou les honneurs, qu'elle aurait pu lui procurer; ingénieur d'une rare valeur, il n'avait de préoccupation que le perfectionnement de l'industrie extractive et la sécurité des ouvriers.

Comment la mort d'un pareil homme n'éveillerait-elle pas dans tous les cœurs les plus vifs et les plus sympathiques regrets?

Le Corps des Mines et la Société géologique de France en apportent ici, par ma voix, le douloureux témoignage.

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,

Le coup le plus cruel vient d'être porté à l'École des Mines. Quelques instants ont suffi pour lui enlever l'une de ses gloires, l'un de ses professeurs les plus aimés. Ernest Mallard y était devenu l'objet du respect et de l'affection de tous. D'une extrémité à l'autre de la hiérarchie, chacun voyait en lui un esprit créateur et un homme excellent.

Il est né à Châteauneuf, dans le département du Cher, le 4 février 1833. Reçu en 1851 à l'École Polytechnique, il entra en 1853 à l'École des Mines. Nous l'y avons vu revenir en 1872 comme professeur de l'une de nos premières chaires, celle de minéralogie. Depuis lors, pendant vingt-deux ans, il a su y former de nombreuses promotions d'ingénieurs, y attirer le public éclairé et y faire connaître les admirables théories par lesquelles il a renouvelé la face de cette belle et difficile science.

Dès ses débuts dans la vie administrative, le service ordinaire, d'importantes études géologiques sur le terrain et l'enseignement de l'excellente École des mines de Saint-Étienne l'avaient successivement préparé aux plus hautes destinées scientifiques. Une mission dont il fut chargé au Chili se termina pour lui au moment de l'effondrement de la puissance militaire de la France. A peine débarqué à Bordeaux, Mallard réclama du service et prit part comme chef du Génie civil à la douloureuse expédition de l'armée de l'Est pendant le terrible hiver de 1870.

Son rare mérite lui ouvrit successivement toutes les portes. L'Académie des sciences, le Conseil général des Mines viennent tour à tour de revendiquer pour eux devant vous sa gloire ; et je ne saurais reprendre les brillantes énumérations qui vous ont été présentées. Mais il m'est bien permis de dire que l'École nationale supérieure des Mines est restée sa véritable patrie. C'est de là que sont sortis ses plus belles recherches et leurs plus importants résultats.

J'ai aussi à apporter sur cette tombe le suprême adieu d'une autre compagnie dont il était l'âme : la Commission du grisou. Les recherches accomplies par Mallard sur le grisou, tant en son nom personnel qu'en collaboration avec M. Le Chatelier, l'ont placé absolument hors de pair dans cet inextricable domaine.

La méthode des sciences expérimentales consiste ordinairement à circonscrire les uns après les autres des phénomènes déterminés, en isolant chacun d'eux de toute autre influence, pour leur arracher successivement le secret de leurs lois théoriques. Mais tel ne peut pas être le procédé de l'ingénieur, qui doit, au contraire, se mesurer corps à corps avec la réalité des conditions de la pratique, en les envisageant dans toute leur effective complication. Les difficultés s'accroissent par là considérablement, en même temps que trop souvent diminue l'élégance de la solution. Quelle admiration ne commandent pas, au point de vue humanitaire, des recherches dans lesquelles on voit toute l'intelligence d'un Mallard disputer pied à pied au grisou ses victimes, et dompter finalement, dans une partie de ses effets destructeurs, le vieil ennemi du mineur! Dans cette voie, il a attaché son nom à la création des explosifs de sûreté, à la découverte du retard à l'inflammation du grisou, à la rectification d'idées inexactes sur la chaleur spécifique des gaz, et à beaucoup d'autres nouveautés de premier ordre.

C'était un grand esprit! Tout avait mûri en lui. Les faits s'étaient classés dans ce cerveau dans un lumineux ensemble. Sa méthode était simple, puissante et sûre. De tant de travaux divers se dégageait chez lui cette essence supérieure des choses de l'intelligence : la philosophie. Philosophie de l'âme, philosophie des sciences, philosophie de l'histoire, tous se réclament de la philosophie, mais combien l'atteignent en réalité? Mallard avait l'esprit philosophique et très simple.

Dans le domaine de la jurisprudence, si un cas se présentait, hérissé de textes, de précédents, de pour et de contre, il rédigeait un rapport très sobre qui mettait les choses au point. C'était juste, c'était droit, c'était complet. Après la lecture de ces courtes pages, chacun se demandait : Que pourrait-on encore ajouter? et l'on ne trouvait rien.

En fait de science, il allait droit au but avec une grande sûreté. Il a touché à bien des ordres d'investigation, mais son œuvre principale reste la cristallographie, à laquelle il a apporté son véritable couronnement. Il a su discerner dans les théories géométriques si ardues, si pénibles de Bravais, la clef profonde de ces phénomènes délicats, et il l'a révélée au monde savant émerveillé.

Dans l'École des Mines, il a été, il y a une dizaine d'an-

nées, le principal initiateur des grands développements qu'a reçus alors notre système d'instruction. Mais d'ailleurs c'était sur tous les terrains que cet esprit charmant marquait son empreinte. Dans la conversation il se dérobait souvent avec réserve; mais cette retraite modeste laissait l'impression de la justesse et de la précision, de la bonne grâce et de la bonté.

Je me laisse aller, Messieurs, à vous représenter notre pauvre ami tel que de longues années me l'ont si bien fait connaître. Il était l'honneur même; l'honneur tellement sûr de lui qu'il n'a pas besoin de s'enfermer dans une armure d'apparente rigidité, et qu'il peut rayonner librement.

Adieu, mon vieux camarade; adieu, Mallard! Tu as passé parmi nous en donnant le modèle d'une vie de travail et d'honneur. Que Dieu t'en accorde aujourd'hui la récompense!

DISCOURS DE M. MICHEL LÉVY

Ingénieur en chef des mines, Président de la Société française de minéralogie,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

Messieurs,

J'ai la douloureuse mission d'adresser, au nom de la Société française de minéralogie, un dernier hommage et un dernier adieu au savant illustre qu'elle était fière de compter parmi ses fondateurs.

Notre Société date de 1878; dès 1879, M. Mallard était appelé à la présider par le vœu unanime de ses confrères et de ses disciples, et depuis lors, il n'a cessé de joindre ses efforts à ceux de notre vénéré maître, M. Des Cloizeaux, pour assurer la prospérité de l'œuvre dont ils avaient fondé les bases d'un commun accord.

C'est donc un témoignage de reconnaissance que nous devons d'abord à M. Mallard; c'est aussi l'expression de notre profonde admiration pour ses travaux minéralogiques, dont l'éclat a si souvent rejailli sur nos propres publications.

Depuis longtemps, l'attention des savants avait été appelée sur de singulières anomalies optiques qui se présentaient en contradiction apparente avec les formes extérieures et la symétrie cristallographique de certains minéraux. Dès 1841, Biot avait consacré à ces anomalies un mémoire étendu et sa conclusion avait consisté à assimiler l'édifice cristallin des minéraux anormaux à des piles de glaces.

D'autres savants, appartenant notamment à l'École allemande, recouraient aux phénomènes de trempe et de tension inégale des corps colloïdes.

Le problème était des plus ardus; l'insuffisance des explications proposées éclatait à chaque fait nouveau d'observation dont s'enrichissait la science, quand, en 1877, dans un mémoire magistral, M. Mallard fit jaillir la lumière dans les ténèbres et résolut le problème en le ramenant à l'étude approfondie des groupements, dont les macles sont un cas particulier.

S'élevant sans effort à une haute conception philosophique, il a montré que tout se réduit en somme à la tendance naturelle des corps vers une symétrie extérieure plus grande que celle qui résulterait de leur propre réseau, s'il n'y avait pas de groupement.

Dès lors, la Société française de minéralogie a pu assister à une série de discussions qui rappelaient par plus d'un côté la lutte mémorable soutenue jadis par Fresnel dans une autre enceinte.

M. Mallard en est sorti, lui aussi, définitivement triomphant, et ses collègues ont eu, maintes fois, l'occasion de constater que, comme tous les vrais savants, il avait

le triomphe modeste; chez lui, la fermeté et la décision dans les idées s'alliaient aux formes les plus courtoises et à la plus sincère bienveillance.

Pourquoi faut-il que cette brillante carrière ait été si prématurément et si subitement arrêtée?

Nos regrets et notre affliction se confondent avec le deuil de la France savante; puissent-ils adoucir la douleur de la famille de notre illustre et regretté collègue!

DESCRIPTION GÉOLOGIQUE

DE LA

RÉGION DES PHOSPHATES DU DYR ET DU KOUIF

PRÈS TÉBESSA

Par M. BLAYAC, attaché aux Services de la Carte géologique détaillée de la France et de la Carte géologique de l'Algérie.

Au nord-est de Tébessa, à quelques kilomètres de la frontière tunisienne, deux lambeaux suessoniens, déjà signalés sur la carte provisoire, présentent un intérêt tout particulier par suite des couches de phosphate de chaux qui s'y trouvent interstratifiées (Pl. XV, *fig.* 1).

Le plus important par son étendue est celui du *Djebel Dyr*, immense plateau de 45 à 50 kilomètres de tour, à peu près rectangulaire, et couronné par des bancs calcaires que l'on aperçoit de très loin, car ils dominent de 7 à 800 mètres la plaine qui s'étend à l'ouest.

Son altitude varie de 1.517 à 1.200 mètres.

Plus à l'est, c'est-à-dire à 27 kilomètres nord-est de Tébessa, se trouve le deuxième lambeau, le *Djebel Kouif*, constitué par deux plateaux presque attenants : celui d'*Aïn el Kébir* et celui d'*Aïn el Bey*. Il présente le même aspect que le précédent, quoique moins élevé (1.200 mètres environ) et couronné par une épaisseur de calcaire plus faible. Le Djebel Kouif a environ 15 à 18 kilomètres de tour.

Au flanc sud du Dyr, on trouve aussi un lambeau suessonien assez important qui paraît détaché de celui-ci,

comme nous le verrons plus loin. Il est limité par des failles dont la principale dirigée N.-O. — S.-E. n'a pas moins de 7 à 8 kilomètres de long. Nous lui donnerons le nom d'*Aïn Kissa*, point où vient de s'ouvrir une exploitation de phosphate.

Avant d'étudier les diverses assises de la formation suessonienne, il est utile de connaître sur quel terrain elle repose. Aussi donnerons-nous un aperçu des étages que l'on rencontre depuis le niveau de la plaine qui s'étend aux pieds de ces plateaux.

Quand on se rend au Dyr par le flanc ouest, en partant par exemple du dépôt des phosphates de l'exploitation Crokston (pied du Djebel Fellah) le premier terrain que l'on rencontre affleurant sous les dépôts alluvionnaires de la plaine est le *Cénomanien*.

Cénomanien. — Il est constitué par des marnes calcaires très fossilifères alternant avec des bancs calcaires souvent formés par des magmas d'Ostracées.

On y rencontre toute la faune de Ténoukla-Tébessa : *Ostrea flabellata*, *scyphax*, *oxyntas*, *africana*, *Larteti*, *Luynesi*, *Mermeti*, *olisiponensis*, etc., des Gastropodes, des Échinides, des Janires, etc., tous fossiles caractéristiques du Cénomanien.

L'épaisseur de l'étage est ici d'environ 80 à 100 mètres.

Ses couches sont, au pied du Djebel Fellah, assez relevées (35 à 40°), mais, plus au nord, elles se rapprochent peu à peu de l'horizontale. Vers le sud, le Cénomanien ne va pas bien loin sans être recouvert par des atterrissements marneux et caillouteux (Quaternaire ou Pliocène) et le flanc ouest du Djebel Gounifida n'en présente déjà plus. On ne retrouve cet étage que plus à l'est à la base de la *chaîne Bekahria* et *Bled el Djerrah* où il présente le même facies et la même faune que précédemment.

Turonien. — Au-dessus du Cénomanien et concordant

avec lui, on trouve le *Turonien* d'aspect tout différent. Il constitue partout dans la région qui nous intéresse des escarpements, des crêtes rougeâtres et découpées que l'on reconnaît de loin. Il est formé à la base par des calcaires marneux (30 mètres) renfermant de nombreux Gastropodes, des Turritelles (la faune de Ténoukla) (*), et à la partie supérieure par des calcaires durs, dolomitiques, rougeâtres avec des Échinides (20 à 25 mètres).

La crête des Djebel Fellah et Rakenah est formée par ces derniers calcaires. Au Djebel Fellah, le plongement des couches est de 45 à 50° avec relèvement vers l'ouest. Mais, au Djebel Rakenah, grâce à une faille qui affecte aussi le Cénomanien et le Sénonien dont nous allons parler, les couches tendent vers l'horizontale (voir coupe I, *fig.* 2). Au sud, le Turonien est recouvert, même avant d'arriver au Djebel Gounifida, par les alluvions anciennes. Pour retrouver le Turonien, il faut aller à l'est, au sud du Kouif où on le voit constituant avec un léger plongement les crêtes des Djebel Bekahria, Feld el Rezaim et Djerrah pour se prolonger ensuite en Tunisie.

Sénonien inférieur. — Le Turonien est partout surmonté par une épaisseur de marnes vertes et grises alternant avec de petits bancs calcaires, et qui supportent des calcaires en bancs réguliers, tendres, cassants, blancs et surtout remarquables par l'abondance d'*Inocérames* bien caractéristiques du Sénonien supérieur (*Inoceramus Cripsi* et var.).

Les marnes vertes et grises de la base (80 à 100 mètres) appartiennent au Sénonien inférieur. Le temps ne m'a pas été propice pour y recueillir des fossiles, mais M. Ficheur et M. le comptable des mines Crokston m'y ont signalé la présence d'échinides du Sénonien inférieur.

(*) Voir Péron, *Description géologique de l'Algérie;* Pomel, *Description de la Carte géologique provisoire de l'Algérie*, 1889.

Sénonien supérieur. — Les calcaires blancs situés au-dessus occupent dans la région qui nous intéresse une vaste étendue, comme on peut s'en rendre compte en jetant un coup d'œil sur la carte que nous avons dressée (Pl. XV, *fig.* 1). Ils présentent le même facies que ceux d'Aïn Beïda et les Inocérames qui y pullulent s'y présentent aussi, comme là, à l'état de moules.

Tout autour du Dyr jusqu'au Kouif et au delà, on est continuellement sur ces calaires, dont l'épaisseur peut être évaluée sans exagération entre 300 et 400 mètres.

Leur inclinaison est partout de 10 à 15 degrés avec relèvement vers le nord magnétique, sauf cependant sur le flanc est du Djebel Fellah (près le bordj du Caïd) où j'ai noté une inclinaison de 30 degrés. Entre le Djebel Fellah et le Kouif, le Sénonien est affecté de deux ondulations principales à amplitude très large et constituant deux grands, mais légers, synclinaux dans lesquels l'érosion n'a pas atteint les lambeaux suessoniens qu'ils supportent et dont nous allons bientôt nous occuper. A l'est du Dyr, le Sénonien inférieur disparaît dès le Djebel Gounifida sous le manteau alluvionnaire de la plaine, alors que les calcaires à Inocérames persistent au-dessus du niveau de celle-ci (800 mètres) et atteignent l'altitude de 1.200 mètres environ. Au nord, les marnes vertes et grises paraissent se développer sur le flanc est de la chaîne qui borde la plaine toujours recouvertes par les calcaires à *Inocérames*. Au sud du Dyr, ces derniers sont interrompus par le lambeau suessonien d'Aïn Kissa et viennent butter par faille contre les calcaires durs à silex de l'Éocène inférieur comme l'indique la coupe II (*fig.* 3). Dès le Djebel Gouraï, le Sénonien inférieur réapparaît et forme une bande très régulière (entre le Turonien et le Sénonien supérieur) et qui se poursuit jusqu'en Tunisie.

Enfin, au sud du lambeau d'Aïn Kissa, les calcaires suessoniens viennent butter contre les marnes du Sénonien inférieur, qui sont d'ailleurs peu apparentes, recouvertes qu'elles sont par les dépôts quaternaires.

Suessonien. — Le Suessonien peut être considéré ici comme formé de deux étages bien distincts : à la base des marnes noires et grises ; à la partie supérieure des calcaires d'abord marneux et à rognons de silex avec couches de phosphates interstratifiées, puis des calcaires durs et compacts à *Nummulites* et *Thersitea*.

Ces formations reposent ici, comme nous l'avons dit, dans deux synclinaux ou mieux deux ondulations synclinales des calcaires à Inocérames. Leurs dépôts se relèvent légèrement au Dyr comme au Kouif sur les bords de ces deux ondulations, mais avec une inclinaison bien moindre que celle du Sénonien.

1° *Marnes suessoniennes*. — L'assise des marnes est d'épaisseur variable. Au Dyr, elle atteint environ 120 mètres ; au Kouif, elle ne dépasse pas 50 mètres. Elles sont discordantes avec les calcaires à Inocérames dont les bancs supérieurs sont souvent corrodés. Cette discordance est loin d'être partout manifeste, car ces calcaires sont presque toujours peu inclinés (10 à 12°) ; mais sur le flanc ouest, on peut la constater en plusieurs points, et notamment près du *Bordj du Caïd* où les couches sénoniennes ont une inclinaison de 30 degrés. Même constatation au flanc sud près de l'*Aïn el Kelb*, quoique l'inclinaison du Sénonien soit moins forte. Ces marnes sont quelquefois imprégnées de cristaux de gypse ; elles sont très délitescentes, noires surtout à la base, parfois grises, surtout à la partie supérieure. Les cristaux de gypse sont particulièrement abondants dans la partie ouest du morceau enfaillé d'Aïn Kissa.

Les fossiles y sont peu abondants. J'y ai trouvé l'*Ostrea eversa* et d'autres débris d'huîtres parmi lesquelles l'*Ost. multicostata*, si abondante à Souk Ahras (Dekma). M. Fi-

cheur me les avait signalées ; il a trouvé aussi des débris de *Pecten*.

Dans les marnes du Kouif, à quelque cents mètres sud d'Aïn el Kébir, on constate à la partie supérieure un banc de calcaire marneux formé par un magma d'huîtres mal conservées, où on peut distinguer cependant l'*Ost. multicostata*. Ce banc se poursuit sur une assez grande étendue. (Voir coupe IV, *fig.* 5.)

A Aïn Kissa même, il faut signaler à la base des marnes une couche de 70 à 80 centimètres de phosphate de fer avec nombreux cristaux de gypse et dents de squales. Je n'ai pas vu ailleurs cette couche à phosphate de fer.

Peut être se trouve-t-elle aussi au Dyr et au Kouif ; et les glissements provenant des marnes supérieures la masquent-elle ?

Extension. — Tout autour des deux escarpements de ces deux plateaux l'étage des marnes présente le même aspect. Au flanc ouest du Dyr il affleure sur une étendue plus étroite qu'aux flancs est, nord et sud où la pente est plus douce.

Au Kouif il forme un substratum aux calcaires supérieurs, d'étendue à peu près égale tout autour des deux plateaux d'*Aïn el Bey* et d'*Aïn el Kébir*.

Le lambeau d'Aïn Kissa ne laisse affleurer les marnes inférieures que dans l'extrême partie ouest. On les trouve là avec des inclinaisons diverses, grâce aux nombreuses failles qui sillonnent cette partie.

Partout, l'étage des marnes est légèrement phosphaté et constitue un excellent terrain de culture pour les céréales.

2° *Suessonien* (*partie supérieure*). — C'est immédiatement sur cette assise marneuse que reposent les couches à phosphate de chaux. Voici, pour plus de clarté,

quelle est la succession des couches depuis cette dernière jusqu'à la fin de la formation suessonienne.

Nous prenons comme exemple l'escarpement sud du Dyr, au point où se trouve l'exploitation Crokston (*fig.* 4).

(*b*)	7.	δ Calcaire dur à Nummulites calcaires. . . . γ Calcaire très dur à *Thersitea* siliceuses. . . β Calcaire très dur à Nummulites siliceuses. α Calcaire compact avec rognons siliceux. .	70 à 80^m
(*a*)	6.	Calcaire blanc tendre à silex, passant aux calcaires durs du dessus.	3 à 4^m
	5.	Couche de phosphate de chaux.	0^m,50
	4.	Calcaire blanc marneux à silex.	2 à 3^m
	3.	Couche de phosphate de chaux.	0^m,60
	2.	Calcaire blanc marneux à rognons de silex. .	4 à 5^m
	1.	Couche de phosphate de chaux.	3^m

Marnes noires suessoniennes.

Couches à phosphates. — Dans les coupes I à V (*fig.* 2 à 6 de la Pl. XV), nous avons désigné par le n° 6 les assises 1, 2, 3, 4, 5 et 6 du tableau ci-dessus limitées à la base par les marnes noires suessoniennes et en haut par les calcaires en bancs épais qui constituent l'escarpement des plateaux. Leur épaisseur totale est d'environ, au Dyr, de 12 à 15 mètres.

La première couche de phosphate, qui a 3 mètres d'épaisseur et qui donne lieu à l'importante exploitation de M. Crokston, est particulièrement intéressante. Elle est d'aspect grisâtre, gréso-sableuse ; sa partie supérieure (c'est-à-dire environ 0^m,70), est seule inutilisable par sa faible teneur en acide phosphorique et par la présence presque constante de la silice qui la rend très dure. Cette partie supérieure sert de toit à l'exploitation. La teneur moyenne du phosphate situé au-dessous de cette faible portion siliceuse, varie entre 60, 70 et même 75 p. 100.

La première idée qui vient à l'esprit, quand on voit cette couche sur une partie fraîchement raclée, c'est

qu'on est en présence d'un dépôt littoral ou de mer peu profonde.

On voit en effet des zones blanches et grises qui s'entrecroisent comme dans les dépôts gréseux ou sableux. En outre, les nombreuses traces de Poissons, de Sauriens (vertèbres, dents, coprolithes) et de Crustacés, qui se trouvent là en abondance, semblent bien prouver que les vagues y rejetaient tous ces débris animaux, comme sur une plage.

L'épaisseur considérable du banc semble aussi donner un peu de vraisemblance à la présence, dans l'eau, du phosphate de chaux.

Au-dessus de celui-ci, on trouve une série de calcaires blancs marneux à rognons de silex et qui alternent ici avec deux couches de phosphate inexploitables par leur teneur et leur peu d'importance.

En effet, quand on les suit vers l'ouest, elles se soudent en une seule qui ne tarde pas à finir en fuseau.

Extension. 1° *Dyr.* — Le gros banc à phosphate du Dyr que nous avons décrit au point où il est exploité par M. Crokston, se poursuit certainement tout autour du plateau et sans discontinuité.

Il est souvent caché par l'éboulis des calcaires supérieurs, quoique cependant visible en maints endroits où il a donné lieu à des demandes en exploitation. Son épaisseur est aussi à peu près constante.

A Aïn Gastel, par exemple, point situé au nord, j'ai pu le constater sur une bonne coupe.

Kouif. — Au Kouif, une seule couche de phosphate existe entre les calcaires supérieurs et les marnes noires. Elle acquiert aussi une épaisseur qui va jusqu'à $4^{m},50$ et dont les trois quarts au moins sont exploitables. M. Jacobsen, directeur de l'entreprise de ce plateau, m'a affirmé que certaines parties tendres lui ont donné jusqu'à 78 p. 100 de teneur.

L'épaisseur du phosphate est encore ici assez constante tout autour du plateau, et même en contournant les deux plateaux attenants on ne perd pas de vue le banc, car l'éboulis des calcaires du haut est peu considérable, relativement à celui du Dyr, où ceux-ci ont trois fois plus d'importance.

Vers le nord il se divise en deux par une petite intercalation calcaire de $0^{m},60$ environ et toujours un peu phosphatée.

Je n'ai pas constaté dans les deux plateaux du Kouif la présence, comme au Dyr, d'autres couches de phosphates (*).

Aïn Kissa. — Le lambeau d'Aïn Kissa présente une particularité intéressante.

On ne retrouve plus ici la grande couche du Dyr, mais une série de couches en nombre un peu variable et qui paraissent provenir du dédoublement de celle qui, au Dyr, a 3 mètres d'épaisseur. La plus épaisse que j'aie vue, est à Aïn Kissa même et au Coudiat Cournou situé à côté, où elle a $1^{m},60$ ou $1^{m},80$ environ, dont les trois quarts sont exploitables. J'ai compté en plusieurs points et notamment au Coudiat Cournou (coupe V, *fig.* 6), et en bas de la source Aïn Kissa, jusqu'à six couches de phosphates interstratifiées dans les calcaires marneux à rognons de silex.

Chaque banc de phosphate a son toit formé par un banc de silex. Ces bancs n'ont jamais moins de 80 centimètres, et beaucoup ont plus de 1 mètre. Malheureusement pour les exploitants (**), les nombreuses failles qui

(*) J'adresse ici mes plus vifs remerciements à MM. Crokston, Prudhomme et Samson du Dyr, à MM. Jacobsen et Fouquier du Kouif, qui ont facilité mes observations et rendu ma tâche agréable par leur bon accueil.

(**) Durant mon exploration à Kissa, surpris par les longues pluies de février, j'ai été si bien accueilli par M. le colonel Corps et M. Bouat, administrateurs de la Société française des phosphates de Kissa, que je ne saurais trop les remercier.]

ont disloqué ce lambeau n'ont permis aux phosphates d'affleurer que dans une faible partie à l'ouest. Toute la partie située à l'est est plus tranquille, moins faillée, mais les calcaires supérieurs seuls sont visibles.

b. **Calcaires supérieurs.** — Pour terminer la description complète de la formation suessonienne de Tébessa, il nous reste à décrire les calcaires supérieurs désignés plus haut dans le tableau et dans les coupes par le n° 7.

Dans la coupe III (*fig.* 4), nous avons distingué quatre bancs qui sont particulièrement développés au Ras Chettabia, au-dessus de l'exploitation Crokston.

(α) A la base, reposant directement sur les calcaires tendres, on trouve une assise d'un calcaire dur avec rognons siliceux nombreux, et dans lesquels je n'ai pas trouvé de fossiles.

(β) Au-dessus est une nouvelle assise d'un calcaire compact avec rognons siliceux, et où abondent des Nummulites silicifiées :

M. Ficheur y a reconnu :

Nummulites irregularis, *Rollandi*, *Zitteli*, *planulata*, etc. La première espèce y domine.

(γ) Les bancs supérieurs à celui-ci ont un facies pétrographique semblable, mais ils renferment des *Thersitea* et quelques autres Gastropodes siliceux.

A signaler : *Thersitea ponderosa* et *Turritella carinifera*.

(δ) Enfin, les derniers calcaires qui couronnent le Ras Chettabia ne renferment presque plus de rognons de silex. Ils sont un peu plus tendres et présentent de nombreuses nummulites (mêmes espèces qu'au banc β).

Extension. 1° *Dyr.* — Il reste à voir quelle est l'extension de ces calcaires. La succession ci-dessus se poursuit assez régulièrement sur la partie sud du Dyr ; mais je n'ai pas retrouvé les Nummulites calcaires au nord.

L'épaisseur moyenne est de 70 à 80 mètres, sauf au nord où elle atteint à peine de 50 à 55 mètres. Un éboulis considérable cache une partie de l'étage des marnes et des couches à phosphate, surtout sur le flanc nord.

2° *Kouif.* — Au Kouif, au-dessus des calcaires tendres, on ne trouve pas plus de 20 à 30 mètres de calcaires durs.

J'ai cherché en vain les *Thersitea* et les Gastropodes et je n'ai trouvé qu'en un point au nord des traces de Nummulites siliceuses. Tout autour des deux plateaux, il y a aussi assez d'éboulis et même quelques petits lambeaux faillés, dont le plus important, près Aïn el Bey, a environ 400 mètres de longueur et donne lieu à une exploitation de phosphates.

3° *Aïn Kissa.* — A Aïn Kissa, au nord, à l'est et au sud, on voit les étages des calcaires supérieurs butter par faille contre le Sénonien ; une série de failles secondaires a disloqué tout le Suessonien et plus particulièrement à l'ouest, de façon à permettre l'affleurement des marnes du dessous ; mais les quatre cinquièmes de ce lambeau ne présentent que l'étage des calcaires supérieurs ; vers le sud les failles y sont rares et peu fortes, aussi ces calcaires y sont-ils presque horizontaux.

On les aperçoit de Tébessa même, reposant à mi-flanc du Dyr avec une légère inclinaison vers l'ouest. Là, l'épaisseur de cet étage est considérable, et nous l'avons évaluée avec M. Ficheur à 110 ou 120 mètres.

Le temps pluvieux qui a persisté durant presque toute mon exploration ne m'a pas permis de constater si les quatre assises du Dyr y étaient présentes. J'ai cependant trouvé *Thersitea ponderosa* et *Turritella carinifera* dans la partie ouest.

La quatrième faille qui devrait limiter à l'ouest le

Suessonien de Kissa est masquée par les atterrissements quaternaires.

Avant de clore cette rapide description, je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux directeurs du service géologique d'Algérie MM. Pomel et Pouyanne, qui m'ont toujours guidé de leurs savants conseils et particulièrement dans cette question des phosphates, si importante pour l'Algérie.

Je remercie aussi mon maître et ami M. Ficheur, qui m'a accompagné au Dyr durant ma première journée de courses, facilitant et simplifiant ainsi ma tâche grâce à sa profonde expérience de tout ce qui touche à la géologie algérienne.

NOTE

SUR LES

LAMBEAUX SUESSONIENS A PHOSPHATE DE CHAUX

DE BORDJ REDIR ET DU DJEBEL MZEITA

PRÈS BORDJ BOU ARRÉRIDJ (PROVINCE DE CONSTANTINE)

Par M. BLAYAC, attaché aux Services de la Carte géologique détaillée de la France et de la Carte géologique de l'Algérie.

Au sud-est de Bordj bou Arréridj la carte géologique provisoire de l'Algérie signale un lambeau suessonien sur le Djebel Mzeïta (*). Mais quand on se rend de ce centre au nouveau village de Bordj Redir, qui en est situé à 24 kilomètres, on traverse à mi-chemin, près Bel Smour, une large bande suessonienne, dont l'âge avait été mal défini jusqu'à aujourd'hui. Cette bande se prolonge très loin à l'ouest et au nord-est. A Redir, au pied ouest du Djebel Mzeïta, on se trouve à nouveau en présence d'un autre témoin de cet étage non encore signalé comme tel. Il est limité par des failles et provient d'une cassure du Mzeïta.

La présence en ces trois points de bancs à phosphate de chaux, découverts par M. Grand, contrôleur des mines à Constantine, ayant attiré l'attention du service

(*) Tissot, *Description de la carte géologique de la province de Constantine;* Brossard, *Mémoires S. G. F.*, 2e série, tome VIII, 1864. Pomel, *Description de la Carte géologique provisoire de l'Algérie*, 1889.

géologique algérien, nous avons été chargé par les directeurs de ce service, MM. Pomel et Pouyanne, de dresser, comme à Tébessa, une carte géologique de la région intéressant ces gisements. Cette courte note montrera que le Suessonien présente ici la même succession de couches qu'au Kouif et au Dyr de Tébessa et que les phosphates s'y sont formés dans des conditions identiques (Pl. XV, *fig.* 7).

I. **Djebel Mzeita.** — Il fait partie d'un massif dont l'altitude moyenne varie entre 1.100 et 1.476 mètres, et qui est divisé en deux parties assez distinctes par un profond ravin, l'*Oued el Aouara*. Quand on part de Redir pour faire l'ascension de ce massif, on a, sur la gauche de ce ravin, toute une partie qui ne nous intéresse pas : le Suessonien y fait défaut. Au contraire, à droite, la montagne, plus élevée qu'à gauche, est couronnée par cet étage.

Sénonien supérieur. — Le terrain qui forme le substratum est ici à peu près horizontal; c'est encore le Sénonien supérieur, mais avec un facies différent de celui de Tébessa. Ici, les calcaires blancs en plaquettes riches en *Inocérames* font place à des calcaires durs en bancs souvent épais, dolomitiques surtout à la partie supérieure et alternant avec des marnes schisteuses à la partie inférieure. L'épaisseur totale est considérable. On peut l'évaluer au minimum à 300 mètres.

Les fossiles abondent, surtout dans le bas de la formation. Nous n'avons pu encore les déterminer tous, mais on peut citer avec M. Brossard :

Ostrea Pomeli, *Ost. Nicaisei*, *Ost. vesicularis*, *Ost. Renoui*, *Ost. Villei*, *Plicatula Ferryi*, des *Lima*, *Hemiaster Fourneli*, etc., tous bien caractéristiques du Sénonien algérien. La coupe schématique I, *fig.* 8, Pl. XV, montre l'importance de cet étage et ses relations avec le suessonien.

Suessonien. — Son épaisseur moyenne est de 80 à 100 mètres, là où l'érosion a le moins agi. Voici la succession des couches de cette formation (de bas en haut) :

1° Marnes noires.	15 à 25 mètres.
2° Calcaires marneux blancs tendres, alternants avec lits de silex et trois bancs de phosphates (quelquefois quatre) de 1 à 2 mètres.	40 —
3° Bancs de calcaires marneux à rognons de silex	20 à 30 —
4° Calcaires durs (souvent enlevés par érosion).	2 à 6 —

(Voir coupe I, *fig.* 8; les divisions 2° et 3° y sont confondues sous l'indice 3.)

1° **Marnes noires.** — Les marnes noires de la base ne font jamais défaut; elles sont moins épaisses qu'au Dyr de Tébessa, mais présentent le même facies. Dans la course un peu rapide faite au Mzeïta nous n'y avons pas trouvé de fossiles, mais M. Brossard y signale l'*Ostrea multicostata*.

2° **Calcaires marneux à silex et bancs de phosphates.** — L'alternance de calcaires marneux à lits de silex et à bancs de phosphate est semblable à celle du Dyr. Seuls ces derniers y sont différents. Nous en avons compté jusqu'à quatre, qu'on peut suivre sur une grande étendue. Le plus important a 2 mètres environ; il est, par place, assez siliceux, surtout à sa partie supérieure; à la base il est piqueté de portions calcaires. Le phosphate n'est plus ici aussi tendre qu'au Dyr; il est, au contraire, dur, noir, piqueté de blanc et de gris (coprolithes). Les dents et les vertèbres de Squales y sont fréquentes. Une analyse, faite à l'École des sciences d'Alger, d'un échantillon provenant d'une cassure fraîche, a donné une teneur en phosphate de chaux de 66,5 pour 100.

Les autres bancs phosphatés sont moins épais et présentent les mêmes caractères que le précédent.

3° **Calcaires marneux à silex.** — Cette alternance est toujours couronnée par des calcaires marneux à rognons de silex qui bien souvent sont réduits à une faible importance, car ils ont été alors enlevés en partie par l'érosion avec les calcaires durs qui les surmontaient. Pas de fossiles.

4° **Calcaires durs.** — Ces derniers, qui forment au Dyr et au Kouif le toit des dépôts suessoniens et où ils acquièrent un développement considérable (près de 120 mètres dans leur plus grande épaisseur), sont ici représentés par des calcaires un peu plus tendres et moins ménagés par l'érosion.

C'est à peine si quelques témoins de cette assise ont persisté en deux ou trois points. Nous n'y avons pas trouvé trace de *Nummulites* et de *Thersitea*.

II. **Bordj Redir.** — Le lambeau suessonien de Bordj Redir est peu étendu. Il présente beaucoup d'analogie, quoique plus petit, avec celui d'Aïn Kissa (Dyr). Comme lui, il est descendu par failles au pied du massif d'où il provient (Mzeïta). Celui que nous venons d'étudier est à 400 mètres environ au-dessus de lui.

La formation présente ici, à Bordj Redir, les mêmes dépôts que ceux désignés précédemment, avec cette différence que les failles y abondent, que les couches de phosphate y sont plus nombreuses et que les calcaires durs supérieurs y sont fossilifères, un peu plus épais et moins rares. Il convient de signaler particulièrement la présence de *Thersitea ponderosa* qui fixe bien l'âge de ces couches. En outre, dans les calcaires marneux, citons aussi *Ostrea multicostata* (*var*). Donc même succession de couches qu'au Mzeïta, avec cette particularité que les bancs de phosphate y sont plus nombreux. Nous en

avons compté sept à l'Oued Redir, près de son confluent avec l'Oued el Aouara, et onze dans un petit ravin voisin (Oued Sfa). — Un seul banc cependant présente une épaisseur remarquable, 2 mètres à $2^m,50$; là, le phosphate a les mêmes qualités qu'au Mzeïta; il est peut-être même moins calcaire à la base et moins siliceux à la partie supérieure. Les autres bancs ont de $0^m,60$ à 1 mètre environ.

Les coupes II et III (*fig.* 9 et 10), schématiques, mais exactes quant aux failles et à l'allure générale des couches, ne portent, pour faciliter la clarté du dessin, que deux bancs de phosphate.

Il convient d'ajouter que le substratum est comme au Mzeïta le Sénonien supérieur (à *Ostrea Pomeli*, *Villei*, etc., *Hemiaster Fourneli*) qui affleure tout autour du Suessonien et que le Ligurien inférieur (marnes grises et grès en plaquettes) recouvre ce dernier, avec discordance, en un point près du village de Bordj Redir.

III. **Bel Imour.** — A mi-chemin de ce dernier centre et de Bordj bou Arréridj, près du petit hameau de Bel Imour, on traverse la large bande suessonienne dont nous avons parlé au début. Elle se poursuit sans interruption sur une longueur d'environ 40 kilomètres depuis le tunnel d'*El Achir* jusqu'au delà d'*Aïn Tirkester*. Elle présente autant d'intérêt par la présence de bancs phosphatés faibles intercalés dans ses couches que par la nature même de ces dernières. En effet ici le phosphate fait place à des marnes schisteuses phosphatées très épaisses d'une teneur très faible en acide phosphorique; de plus, il n'y a pas de traces de calcaires durs au sommet et les alternances de calcaires marneux à lits de silex comprennent des couches purement marneuses. Au sein de ces alternances, on rencontre des bancs pétris d'*Ostrea multicostata* et d'espèces approchantes.

M. Grand, qui, tout dernièrement, a traversé ce lambeau dans toute sa largeur, nous signale que plus on gagne le nord plus les marnes phosphatées sont faibles et qu'elles finissent par passer à des marnes calcaires. Ce phénomène n'a rien qui nous surprenne et confirme une fois de plus la théorie des géologues algériens sur la formation des phosphates suessoniens : de Souk Ahras jusqu'à Bordj bou Arréridj, c'est-à-dire sur une longueur d'environ 380 à 400 kilomètres au minimum, on rencontre une série de lambeaux suessoniens signalés par MM. Pomel, Tissot et Brossard, et où il a été signalé des gisements de phosphate de chaux plus ou moins riches mais bien continus. Nous avons trouvé pour notre part, il y a quelques jours à peine, un lien entre les phosphates de Souk Ahras et ceux d'Aïn Fakroun ; en effet le Suessonien situé entre ces deux points renferme des marnes fortement phosphatées au sein des calcaires tendres à silex et aussi une roche tendre donnant à la surface jusqu'à 48 p. 100 de phosphate de chaux. Des recherches plus approfondies donneront peut-être des échantillons à teneur plus forte. En outre, entre Aïn Fakroun et Bordj bou Arréridj, le Suessonien peu étudié jusqu'à aujourd'hui quant aux phosphates nous révélera bientôt la présence de ces derniers ou au moins de marnes phoshatées, la seule fertilité remarquable du sol nous en est un indice.

Or tous ces dépôts suessoniens situés entre Bordj bou Arréridj et Souk Ahras, de même que ceux situés par exemple entre Tebessa et Batna, se trouvent sur le rivage de la mer de cette époque. Il est donc rationnel de considérer nos phosphates comme une formation de rivage ou plus justement de mer peu profonde La quantité considérable de dents et de débris de Poissons et de Sauriens (*) qu'on y trouve en est une conséquence. En outre,

(*) Voir Pomel, *C. R. A. S.*, juin 1894 ; *Notes à l'Association*

dès qu'on gagne la pleine mer suessonienne, plus trace de phosphates : comme à Bel Imour, ils passent à des marnes à teneur faible, puis à des marnes calcaires.

Nous nous proposons d'ailleurs de revenir bientôt sur ce sujet après des études approfondies déjà commencées par le Service géologique de l'Algérie et entreprises sur le rivage de la mer suessonienne algérienne.

Grâce à M. de Font-Réaulx, sous-préfet de Guelma et à MM. Bernelle, Caroli, et Saugey, administrateurs de commune mixte, nous avons pu prendre de rapides observations dans la partie située entre Souk Ahras et Aïn Fakroun avec assez de facilités, ce qui n'est pas toujours possible dans bien des régions de l'Algérie.

pour l'avancement des sciences, Congrès de Toulouse et d'Oran ; Thomas, *S. G. F.*, 1891 ; Péron, *Description géologique de l'Algérie.*

BULLETIN

RÈGLES POUR LA CONSTRUCTION DES VIS MÉCANIQUES

ÉTABLIES

PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale vient de publier les règles d'un système uniforme de filetage pour les vis mécaniques. Ce document, d'une haute importance, a été définitivement rédigé à la suite d'une enquête approfondie faite par cette Société dans le courant des années 1893 et 1894.

Le *Bulletin* de la Société a donné, en avril 1893, un mémoire considérable sur la question des filetages. Ce mémoire fait d'abord ressortir l'extrême importance et l'emploi constant des pièces taillées en forme de vis, dans les constructions, dans les machines, dans une foule d'appareils et d'instruments. Il donne une classification, en cinq grandes catégories, de ces vis : d'abord les *vis mécaniques*, dont le diamètre est généralement compris entre 6 et 100 millimètres, sont les boulons, écrous, goujons, servant à assembler les pièces de machines ou de charpentes, ainsi que les parties filetées diverses servant aux mêmes assemblages; les *vis horlogères*, dont le diamètre atteint rarement 6 millimètres et se tient souvent au-dessous de 2 et de 1 millimètre, servent dans les horloges, les montres, les appareils de physique; les vis tracées sur les *tubes*, qui ont nécessairement un faible pas, même pour les grands diamètres, forment une troisième catégorie; une 4e classe contient les *vis spéciales*, telles que celle des tendeurs d'attelage, des transmissions de mouvement dans les machines outils, des instruments de mesure; enfin la 5e classe renferme les vis à bois, qui pratiquent elles-mêmes leur logement dans des matières relativement molles.

C'est aux vis mécaniques que se limite le travail actuel de la Société d'encouragement. Après quelques considérations générales

sur ces pièces et sur leur fabrication, le mémoire passe en revue une série de systèmes employés par les divers constructeurs : l'infinie variété de ces systèmes, variété que rien ne justifie, prouve la nécessité d'une unification. Deux systèmes seulement se présentent avec la sanction d'une application très étendue, mais ils sont établis avec des mesures non métriques : ce sont ceux de Whitworth en Angleterre et de Sellers en États-Unis, dont les pas et les diamètres sont exprimés en pouces et fractions de pouce.

Le succès de ces deux systèmes montre que l'introduction, dans notre pays, de types de vis simples et uniformes, faciles à exécuter avec précision à l'aide d'un outillage peu considérable, aurait, pour l'industrie, un avantage incalculable, avantage moins général mais du même ordre que celui qui résulte de l'adoption du système métrique. La Société a cru devoir limiter son action à la France : d'une part, elle n'a pas jugé qu'il lui appartînt de provoquer une entente internationale à ce sujet, ainsi qu'elle en a reçu la proposition de plusieurs ingénieurs étrangers; d'autre part, elle a pensé qu'un accord général serait fort difficile, tandis que le système nouveau avait de fortes chances de s'implanter rapidement en France.

Le mémoire se termine par l'indication des règles nouvelles proposées. En même temps, la Société demandait l'avis de toutes les personnes intéressées à la question, auxquels son travail a été largement distribué.

Les nombreuses réponses qu'elle a reçues prouvent l'intérêt qu'offre la question. L'étude des observations ainsi recueillies a conduit à quelques modifications légères des propositions primitives (*Bulletin* d'avril 1894).

Enfin ces propositions amendées ont été discutées dans une sorte de congrès tenu, le 10 mai 1894, dans l'hôtel de la Société, qui s'est alors trouvée en état de formuler définitivement les règles qui conviennent pour un système uniforme de filetages.

Nous reproduisons ces règles, déjà mises en pratique par plusieurs industriels et par de grandes administrations, notamment par des Compagnies minières (*). Nous ferons remarquer que la forme du filet adopté est celle des filetages de la marine française et du système Sellers, forme rationnelle et bien supé-

(*) Les Compagnies des mines d'Aniche et d'Ostricourt ont fait construire des tarauds suivant les nouveaux types, le jour même où le projet de la Société d'encouragement a été définitivement arrêté.

rieure aux profils à grands arrondis du type Whitworth, plus séduisants en apparence.

RÈGLES POUR LA CONSTRUCTION DES VIS MÉCANIQUES.

« **Vis auxquelles s'appliquent les règles de la Société d'encouragement.** — Les règles formulées ci-après ne s'appliquent qu'aux seules *vis mécaniques*, c'est-à-dire aux vis métalliques, de diamètre égal ou supérieur à 6 millimètres, destinées à l'assemblage des pièces de machines et aux constructions mécaniques. Ces règles ne s'appliquent pas aux très petites vis, dites *vis horlogères;* aux vis découpées sur des *tubes;* aux vis *spéciales*, qui servent soit aux transmissions de mouvement dans les tours et autres machines, soit aux mesures micrométriques, soit à des usages particuliers exigeant certaines dispositions qui ne peuvent rentrer dans un système uniforme de filetage; enfin elles ne s'appliquent pas aux vis à bois, qui pratiquent elles-mêmes leur logement dans une matière relativement molle.

« **Nature du filet.** — Le tracé des vis mécaniques est déterminé par l'enroulement en hélice *à droite* d'un filet simple, obtenu par la troncature d'un triangle primitif dont la base, placée parallèlement à l'axe de la vis, est égale au pas de la vis.

« **Jeux entre les vis pleines et les vis creuses.** — Les vis pleines et les vis creuses ou écrous, qui se correspondent, ont, en principe, mêmes filets; mais, afin de tenir compte des tolérances d'exécution, indispensables dans la pratique, tolérances qui doivent varier selon les circonstances, le profil fixé est un *profil limite*, pour la vis pleine comme pour la vis creuse; cette limite est prévue *par excès* pour la vis pleine et *par défaut* pour la vis creuse : en d'autres termes, la vis pleine doit toujours rester à l'*intérieur* du profil limite, et la vis creuse à *l'extérieur* de ce même profil.

« Les écarts entre la surface théorique commune et les surfaces réalisées sur la vis pleine et sur son écrou déterminent le *jeu* que présenteront les deux pièces montées l'une sur l'autre. Aucune valeur n'est fixée pour ce jeu, chaque constructeur restant juge des tolérances admissibles, suivant la destination des vis et suivant l'outillage employé pour leur fabrication.

« **Forme du filet.** — Le triangle primitif du filet est un *triangle équilatéral* dont le côté égale le pas; ce triangle est tronqué par deux parallèles à la base, menées respectivement au huitième de

la hauteur à partir du sommet et de la base. Sur la *fig.* 1, le triangle équilatéral primitif est ABC, et les troncatures sont données par les droites EF et GH.

« La *hauteur* du filet, mesurée entre les troncatures, est, par suite, égale aux trois quarts de la hauteur du triangle équilatéral primitif; c'est approximativement le pas multiplié par 0,65, soit un peu moins des deux tiers du pas.

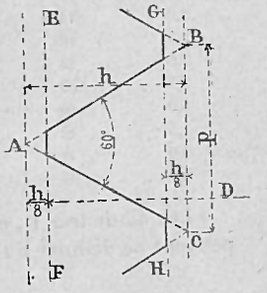


Fig. 1.

« **Arrondis que peuvent présenter les angles dans l'exécution.** — Dans la pratique, et suivant le degré de fini dans l'exécution, les angles vifs saillants et rentrants du profil se trouveront arrondis, plus ou moins légèrement, mais de telle sorte que ni la vis pleine ni la vis creuse ne dépassent leur surface limite commune, fixée suivant la règle indiquée plus haut.

« **Diamètre des vis.** — Le diamètre des vis se mesure sur l'extérieur des filets après troncature : c'est le diamètre du cylindre côté D sur la figure, qui termine la vis suivant EF.

« **Série normale des diamètres principaux.** — Le système proposé pour les vis mécaniques comprend une *série normale* de *vis principales*, de diamètres pairs, dont les pas croissent de demi en demi-millimètre à partir de 1 millimètre. Au pas de 1 millimètre correspond le diamètre de 6 millimètres (*); chacun des pas suivants correspond à un diamètre croissant suivant la la progression indiquée ci-après.

« **Diamètres intermédiaires.** — Entre les vis principales, on peut intercaler, suivant les besoins, des *vis intermédiaires*, dont le pas reste celui de la vis principale immédiatement inférieure. Les diamètres de ces vis intermédiaires doivent toujours être exprimés par un nombre entier de millimètres, et, de préférence, par un nombre pair.

« **Tableau des vis principales.** — La composition de la série normale est donnée par le tableau ci-dessous, qui indique, pour chaque vis principale, le pas, le diamètre et un numéro d'ordre :

(*) Cette vis de 6 millimètres de diamètre est commune à la série horlogère et à la série mécanique, auxquelles on peut considérer qu'elle sert de point de raccordement.

PAS.	DIAMÈTRE.	NUMÉRO.	PAS.	DIAMÈTRE.	NUMÉRO.
millimètres.	millimètres.		millimètres.	millimètres.	
1,0	6	0	6,0	64	10
1,5	10	1	6,5	72	11
2,0	14	2	7,0	80	12
2,5	18	3	7,5	88	13
3,0	24	4	8,0	96	14
3,5	30	5	8,5	106	15
4,0	36	6	9,0	116	16
4,5	42	7	9,5	126	17
5,0	48	8	10,0	136	18
5,5	56	9	10,5	148	19

« Les diamètres D, exprimés en nombre entier de millimètres, peuvent se déduire du pas p, par la formule :

$$D = \frac{p\,(p+8)}{1,3} - 1,5$$

où l'on prend pour p les différentes valeurs adoptées, c'est-à-dire la série des nombres 1 — 1,5 — 2, etc., croissant par demi-millimètre. Le résultat du calcul doit être arrondi, par excès ou par défaut, de manière à donner le nombre *pair* le plus voisin. On opère par excès s'il y a incertitude, comme cela se présente pour le pas de $6^{mm},5$.

« Le pas p d'une vis, dont on se donne le numéro d'ordre n, est égal à $\frac{n}{2} + 1$; le diamètre correspondant peut se calculer par la formule $D = \frac{n\,(n+20)}{5,2} + 5,45$, en arrrondissant le résultat jusqu'au nombre pair le plus voisin.

« La *fig.* 2 représente graphiquement la gradation des diamètres et des pas correspondants.

« Si l'on désire, dans certains cas, des vis plus grosses que celles du tableau, il suffit, pour étendre la série, d'appliquer la même formule, qui donne, pour les pas de 11^{mm} — $11^{mm},5$ — 12^{mm} — $12^{mm},5$, les diamètres de 160 — 172 — 184 — 196 millimètres.

RÈGLES ACCESSOIRES.

« Les règles formulées ci-dessus pour la détermination de la forme des filets, des pas et des diamètres correspondants constituent la partie essentielle de l'unification des filetages; celles qui suivent s'appliquent aux dimensions accessoires des diverses parties des vis, boulons et écrous couramment employés, que l'on peut trouver utile de fixer également dans certains cas.

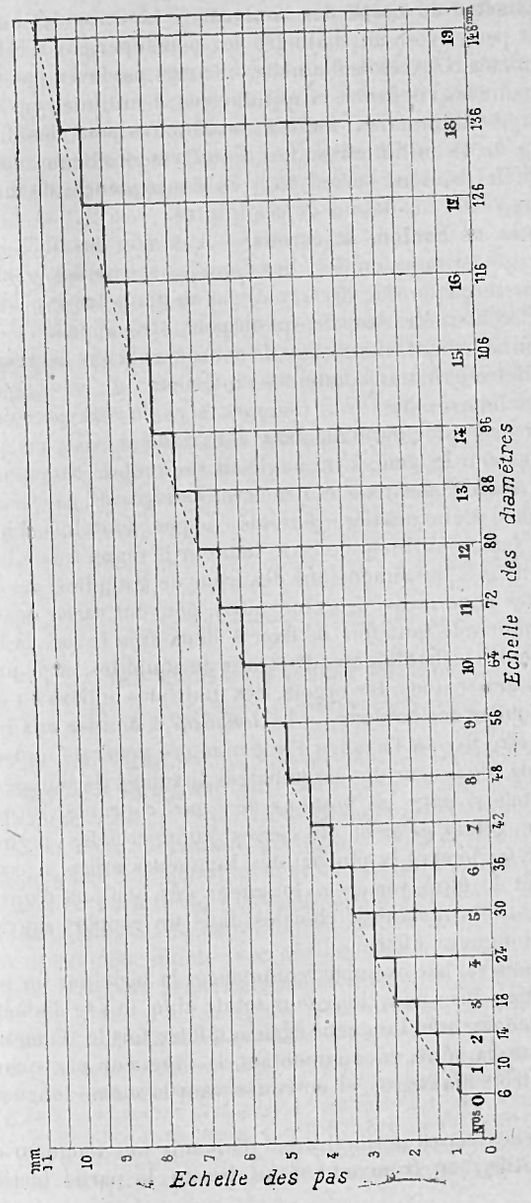


Fig. 2.

« **Diamètre du corps des boulons.** — Le *corps* des boulons et des vis peut avoir un diamètre un peu supérieur à celui de la partie filetée. L'excès de diamètre du corps ne devra pas dépasser $0^{mm},5$ pour les vis de 6 à 14 millimètres; 1 millimètre pour celles de 15 à 48 millimètres; enfin 2 millimètres pour les diamètres de plus de 48 millimètres. Les diamètres des trous destinés à recevoir les boulons seront fixés en conséquence, de manière à toujours rester au-dessus de ces limites.

« **Têtes de boulons et écrous.** — Les *têtes* des boulons et les *écrous* des formes usuelles, hexagonales et carrées, s'inscrivent dans un cercle dont le rayon est égal au diamètre de la vis. Pour les vis de diamètre impair, qu'on peut être appelé à employer occasionnellement, il sera bon de conserver la tête correspondant au diamètre pair immédiatement inférieur.

« L'inclinaison des *têtes coniques* sera de 9 de base sur 10 de hauteur (comptée parallèlement à l'axe de la vis), ce qui correspond, pour le cône, à un angle au sommet de 84° environ.

« La *hauteur* des têtes et des écrous ne paraît pas susceptible d'être fixée d'une manière générale; on peut toutefois considérer comme valeur normale de cette hauteur le diamètre de la vis.

« De même, les dimensions des trous de goupilles, des ergots, des fentes pour recevoir les tournevis, peuvent varier beaucoup : on recommande toutefois de fixer à deux fois le pas la largeur de ces fentes et le diamètre des trous de goupilles, et de prendre, pour les dimensions des ergots, des multiples entiers du pas.

« **Longueur des boulons.** — La *longueur* à donner aux boulons ne peut être fixée à l'avance d'une manière générale, puisqu'elle dépend de l'épaisseur des assemblages auxquels ils sont destinés.

« Toutefois, pour les boulons de types courants, on peut se proposer l'établissement de séries commerciales permettant d'obtenir facilement la plupart des longueurs utiles. A cet effet, il suffirait de faire varier la longueur des boulons d'une série par quantité constantes, choisies dans un rapport convenable avec la longueur filetée.

« On pourra, par exemple, commencer la série par un boulon dont la tige aura pour longueur totale cinq fois le diamètre, et sera filetée sur une longueur égale à quatre fois le diamètre; on continuera la série en augmentant la longueur par quantités égales à trois diamètres, et en conservant la même longueur de filetage.

« De telles séries permettraient d'obtenir une longueur quelconque utile, en tronçonnant au besoin la partie filetée; la longueur de la partie ainsi sacrifiée n'atteindrait jamais trois diamètres.

« **Désignation du système.** — La Société d'encouragement propose le nom de *Système Français* pour désigner le système de filetage établi suivant les règles qui viennent d'être exposées; elle recommande, pour distinguer les vis fabriquées d'après ces règles, de les marquer des lettres S F, initiales de *Système Français*. »

La Société d'encouragement a étudié, en même temps que les filetages, les jauges pour les fils métalliques, qui présentent des diversités fâcheuses et sont caractérisées, d'une manière peu logique, par des numéros arbitrairement choisis. Elle propose de désigner les fils par leur diamètre en dixièmes de millimètres.

Cette proposition n'a pour ainsi dire soulevé aucune observation. On a seulement fait remarquer que, dans certains cas spéciaux, des jauges particulières pourraient encore avoir leur raison d'être, par exemple celle des cordes à pianos, dont les diamètres sont rigoureusement commandés par leurs propriétés acoustiques.

Ed. Sauvage.

LES MINERAIS D'ARGENT DE MILO,

Par M. L. de Launay, ingénieur des mines.

L'île de Milo, ou Milos (*), est formée de deux branches courbes en fer-à-cheval enserrant une rade ouverte au N.-O. Sa plus grande dimension est de 20 kilomètres. Ces deux branches semblent avoir une constitution géologique assez différente : au sud d'un axe N. 130° E (**) marqué environ par la rade (mais qui laisse cependant au nord le cap Vani), on trouve une chaîne de schistes métamorphiques et calcaires cristallins, en partie rattachés au malm et au néocomien avec des dépôts tertiaires (***) sur les pentes et quelques roches éruptives; au nord, au contraire, les roches antérieures au tertiaire disparaissent, sauf sur la côte

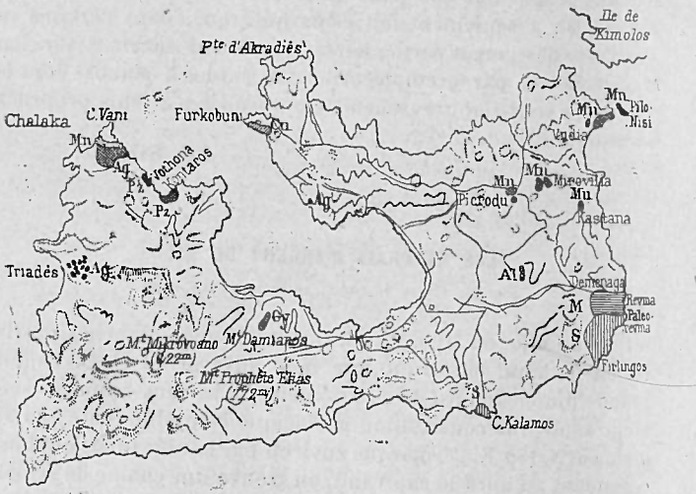
(*) Le nom grec est Milos; mais, en France, on est trop habitué à dire la Vénus de Milo pour que nous changions la dénomination usuelle.

(**) Nous comptons les directions du Nord vers l'Est, puis vers le Sud, dans le sens des aiguilles d'une montre. N. 130° E. correspond à N. 50° O.

(***) Le tertiaire de Milo est surtout du pliocène. Cette division géologique de l'île en deux parties ressort de la carte donnée, en 1846, par Sauvage.

est, où l'on a des schistes cristallins, et l'on observe, au milieu du tertiaire, des éruptions récentes, groupées surtout : au nord, à la pointe d'Akradiès; au sud, à la solfatare de Kalamos. Cette ligne N. 130°E, qui marque approximativement la limite sud des manifestations volcaniques quaternaires, est une des directions importantes de fracture de la mer Egée, celle qu'accusent les côtes de l'Eubée, de la Chalcidique, etc. Prolongée à l'ouest, elle va enfiler l'isthme et le golfe de Corinthe. A l'est, elle se recourbe peu à peu parallèlement à la Crète et au gouffre profond qui accompagne cette île au nord, touche à Santorin, à Nisyros et constitue l'axe volcanique de la mer Egée, en même temps qu'elle indique environ la limite d'extension vers le nord de la quatrième phase méditerranéenne de M. Suess (*).

Cette île est remarquable par ses nombreuses sources chaudes,



Ag *Trachytes et barytines argentifères* Pz *Plomb et zinc argentifères* Cu *Cuivre* Gy *Gypse*
Mn *Manganèse* S *Soufre* M *Meulière* Al *Alun*

Carte au $\frac{1}{290.000}$ des gisements minéraux de Milo (d'après M. Cottrell).

ses solfatares, etc. Les principaux terrains qui y sont décrits sont les suivants :

(*) Cf. De Launay, *B. S. G.*, 3e, t. XX, p. XLVI, et *Arch. des Missions scient.*, 3e, t. XVI, p. 27.

Sur la côte est, des schistes cristallins sont recouverts par des trachytes, sur lesquels portent les exploitations de meulière de Revma, de soufre de Firlingos. Ces trachytes sont surmontés, à leur tour, par des tufs et conglomérats, avec calcaires pliocènes souvent très fossilifères.

Le long de la côte sud, des calcaires bien stratifiés, avec pendage nord, ont été rattachés au malm inférieur et au néocomien; ils s'élèvent, dans le sud, jusqu'à 500 mètres d'altitude.

Enfin, les formations éruptives tertiaires, qui se sont produites depuis la fin du crétacé jusque dans le miocène, ont compris successivement : trachyte à pyroxène et sanidine; trachyte à pyroxène, sanidine et mica noir; liparite (ou trachyte quartzifère à oligoclase, d'après Gobantz). La première roche, très développée, forme quelques-uns des sommets de l'île : le Prophète Elias (772 mètres), le Mikrovoano (622 mètres). Sur le flanc sud du Prophète Élias, on peut voir, dans le calcaire, les dykes par lesquels est monté ce trachyte, qui s'est épanché sur le flanc nord.

La roche qualifiée de liparite repose en discordance sur les trachytes. Elle est, essentiellement, la roche métallifère de l'île : c'est au milieu d'elle, en effet, qu'on a trouvé, au sud-est, des filons (inexploitables) de galène, blende et pyrite de cuivre, qui se terminent en pénétrant dans les trachytes voisins; c'est là surtout que sont d'importants gisements d'argent, sur lesquels on a vivement appelé l'attention depuis quelques années. Nous allons décrire ces gisements, qui présentent une constitution géologique assez spéciale, en nous servant surtout de deux rapports, l'un de M. Cordella, l'autre du consul d'Angleterre à Syra, M. Cottrell (*), et nous ajouterons seulement quelques mots, en terminant, sur les autres substances minérales de l'île.

Minerais d'argent. — Les minerais d'argent de Milo sont intimement associés à des barytines, elles-mêmes légèrement argentifères et encaissées dans le trachyte ou la liparite. La roche éruptive contient, soit des mouches, soit des veinules de quartz, barytine, galène, pyrite de fer, chalcopyrite et blende, à faible teneur en argent et inexploitables; au milieu d'elle, des poches argileuses, qui semblent résulter de la décomposition superficielle de la roche et d'une concentration correspondante des éléments métallifères disséminés, sont particulièrement

(*) Le rapport de M. Cottrell est, lui-même, en grande partie, traduit de M. Cordella.

imprégnées de barytine et riches en minéraux d'argent : ce sont, à proprement parler, les vrais gisements d'argent; on y trouve, comme aux affleurements des filons américains, des traces de chlorure d'argent, mais la majeure partie de l'argent est à l'état de sulfure mélangée à la barytine.

Ces poches sont donc constituées d'argile argentifère entre la liparite très décomposée et la barytine grenue ou compacte; certains de ces amas d'argile grise ou noirâtre ont jusqu'à 12 mètres de large; mais, par leur mode de formation même, ils doivent être essentiellement limités en profondeur et il est probable que, plus bas, on trouvera seulement, dans la roche intacte, des sulfures de plomb et zinc plus ou moins argentifères. D'après une hypothèse très vraisemblable de M. Dambergis, on aurait affaire aux produits d'altération de filons et imprégnations de galène argentifère (avec barytine), ayant, sous des influences chlorurantes (fumerolles? ou eaux salées), donné du chlorure de plomb entraîné par les eaux, tandis que le sulfure d'argent, partiellement transformé lui-même en chlorure, restait concentré dans le résidu argileux et barytique de la roche. Étant données les faibles dimensions de l'île (20 kilomètres de long sur 10 de large), il est vraisemblable que tous ces gisements font partie d'une même formation filonienne récente ayant donné lieu à plusieurs filons N.E-S.O.

Leur découverte remonte à peine à une dizaine d'années.

Dès 1880 cependant, la compagnie des mines de fer de Siphnos et Eubée avait pris une concession de galène argentifère sur la zone ouest, à Galana.

En 1884, on découvrit, au voisinage de la concession, les minerais d'argent de Triadès dont, sous la direction de M. Serpieri, on retira environ 20.000 tonnes jusqu'en 1890. Puis on trouva, vers 1886, au nord-ouest de l'île, ceux du cap Vani (*); sur la côte est, ceux de Pilonisi, du mont Mirovilia et ceux de l'île Kimolos au nord-est.

A la suite de ces découvertes, le gouvernement grec vota une somme de 100.000 drachmes pour l'étude et l'évaluation des gisements, étude qui fut faite par un ingénieur allemand, M. Alexandre Gobantz et donna, suivant celui-ci, des résultats très favorables. Il convient toutefois de remarquer que les minerais sont, le plus souvent, pauvres et toujours d'une teneur en

(*) Fiedler, en 1841, parle déjà de terres argentifères à Chalaka, dans cette région.

argent extrêmement irréguliers : ce qui n'a pu manquer de rendre les évaluations que nous allons reproduire bien hypothétiques.

Décrivons tour à tour les divers gîtes :

A *Triadès*, M. Gobantz a estimé la quantité de baryte argentifère à 750.000 tonnes, celle des argiles et liparites argentifères à 1.440.000 tonnes, la teneur en argent variant de 350 grammes à 1 kilogramme par tonne. Les amas argileux noirâtres, de 8 à 12 mètres d'épaisseur, très irréguliers, sont intercalés entre la liparite et la barytine. L'argent existe un peu dans la liparite et la barytine, mais surtout dans l'argile. Il est à l'état de sulfure, si finement disséminé qu'on ne peut le voir à l'œil nu; la teneur, très variable, est généralement faible; mais il s'y trouve des poches où cette teneur peut atteindre 10 kilogrammes. Les travaux d'exploration, encore très sommaires, se bornent, d'ailleurs, à cinq galeries de 8 à 30 mètres de long et cinq puits dont le plus profond a 22 mètres.

Le gîte du cap *Vani* est en relation intime avec des manganèses (*) exploités par M. Serpieri. Le cube a été évalué à 1.250.000 tonnes, dont une partie tient de 200 à 240 grammes d'argent à la tonne. Il existe, au-dessus des manganèses (miocènes, comme nous le verrons), une couche presque horizontale de barytine, tantôt compacte, tantôt saccharoïde, tenant 200 grammes d'argent à la tonne et, sous le manganèse, se trouve la liparite.

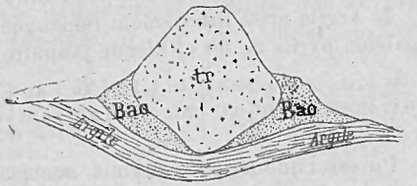
Au mont *Mirovilia*, on a reconnu, par six galeries d'une longueur totale de 120 mètres, un filon continu d'argile et barytine argentifère cubant, dit-on, 2.500.000 tonnes.

Enfin, les filons de *Pilonisi* se prolongent, à travers la mer, vers les îles de Kimolos et Polinos. On en a estimé le cube 3.374.000 tonnes, avec des quantités d'argent très variables, atteignant, par endroits, 2 kilogrammes à la tonne.

Le croquis ci-joint représente la coupe d'un gîte de Milo, d'après von Rath :

tr trachyte siliceux, renfermant de gros cristaux de barytine et des veinules de 1m,2 à 5 centimètres de puissance, remplies de barytine pure cristallisée.

BaO Barytine feuilletée mélangée d'argile.



D'une façon générale, dans tous ces gisements, la teneur

(*) Cette association rappelle les manganèses argentifères de l'ouest américain (Montana et Colorado). (Cf. *Gîtes minéraux et métallifères*, II, p. 808.)

en argent est, en moyenne, assez faible et extrêmement variable, sporadique, pouvant, sur une superficie de quelques mètres, passer de quelques grammes à 1 kilogramme; la distinction des minerais riches et pauvres semble très difficile à faire sans analyse par voie sèche : ce qui rendra les triages très difficiles.

Cependant, les 10.000.000 de tonnes, à une teneur moyenne de 500 grammes d'argent (?), soit 5.000.000 de kilogrammes d'argent qu'on a supposé exister à Milo, expliquent l'enthousiasme que ces découvertes ont excité en Grèce.

Voici quelques analyses exécutées au Laurium grec, d'après M. Cordella, sur des prises d'essai de 4 à 7.000 kilogrammes, on remarquera que les résultats donnés sont assez faibles :

1. Trachyte dur, renfermant des veinules et imprégnation de galène, pyrite, chalcopyrite, blende jaunâtre et quartz rougeâtre; quelques cristaux de barytine sont isolés dans la masse.

$BaOSO^3$	Pb	Ag	Au	Cu	Zn	Fe	As	Sb	S	Mn	SiO^2	Al^2O^3	MgO	CaO
25,80	0,87	0,0089	0,0001	0,638	3,50	2,58	0,039	0,39	2,21	0,33	55	3,4	0,57	1,80

Les cristaux de barytine séparés de la masse tiennent 30 à 50 grammes d'argent à la tonne; la galène isolée, 1.451 grammes d'argent. Cette roche est inutilisable.

2. Argile jaunâtre avec barytine. Cette argile paraît résulter de l'altération de la roche trachytique. Elle contient, outre l'argyrose, de petites fissures remplies, tantôt de galène cristallisée avec gangue de barytine, tantôt de pyrite, chalcopyrite et blende :

$BaOSO^3$	Pb	Ag	Au	Cu	Zn	Fe	Mn	As	Sb	S	SiO^2	Al^2O^3	MgO	CaO	Cl
70,78	0,15	0,045	0,0001	0,21	1,90	3,26	0,25	0,07	0,14	1,7	9,6	7,2	0,68	0,80	0,12

Un essai industriel a permis, sur 445 grammes d'argent contenus par tonne, d'en extraire 300 (soit 67,5 p. 100).

3. Argile grise intimement mélangée à la barytine, contenant galène, pyrite de fer et blende jaunâtre :

$BaOSO^3$	Pb	Ag	Au	Cu	Zn	Fe	Mn	As	Sb	S	SiO^2	Al^2O^3	MgO	CaO	Cl
76,40	0,15	0,0285	0,0001	0,15	2,10	1,89	0,37	0,05	0,41	2,20	6,20	6,30	0,36	1,90	0,07

Un essai industriel a permis, sur 285 grammes d'argent, d'en extraire 162 (soit 57 p. 100).

La galène extraite de l'argile tenait 725 grammes d'argent à la tonne de galène, ou 929 grammes à la tonne de plomb.

D'après M. Dambergis, il y aurait, à Milo, quatre classes de

minerais, dont la plus riche contient 10 p. 100 de plomb et 900 à 1.000 grammes d'argent; les autres, en moyenne, 1 p. 100 de plomb et 500 grammes d'argent. Le rendement en argent industriel serait : pour les minerais à 300 grammes, de 60 p. 100 de l'argent contenu; pour ceux de 400 à 700 grammes, de 70 p. 100; pour ceux de 1.000 grammes, de 85 p. 100.

Certains minerais renferment de la johnstonite (galène avec excès de soufre).

Le gouvernement grec a commencé l'exploitation de ces minerais en régie.

Comme méthode de traitement, on a essayé, au Laurium grec, de passer les minerais de Milo au four à manche avec les minerais plombifères. Ces minerais avaient, dans ce cas, l'avantage d'apporter, outre l'argent, une certaine proportion de silice nécessaire pour la fusion des minerais du Laurium, qui sont basiques et, en particulier, ferreux.

Le traitement par voie humide (grillage chlorurant, lixiviation et précipitation par le cuivre) est également applicable.

Des essais d'enrichissement préalable n'ont pas donné de résultat avantageux.

M. Cordella admet, pour l'évaluation des minerais, le tarif suivant de la Saxe et du Harz, l'argent étant à 120 francs le kilogramme (*) :

300 grammes	ou 0,03 p. 100	=	3,95	la tonne.
400 —	ou 0,04	=	9,75	—
500 —	ou 0,05	=	18,00	—
600 —	ou 0,06	=	26,40	—
700 —	ou 0,07	=	34,80	—
1.000 —	ou 0,10	=	63,00	—
2.000 —	ou 0,20	=	170,00	—

La conclusion de ces chiffres est, pour M. Cordella, que les minerais au-dessous de 600 grammes à la tonne sont invendables aux usines européennes et ne peuvent être utilisés que sur place par voie humide ou au Laurium. Il compte, en effet, les frais comme suit :

	Drachmes.
Extraction	3,00
Travaux préparatoires	1,50
Frais généraux	1,00
— de chargement	0,50
— de transport par mer	5,00
	11,00

(*) *Bezahlungs-Tarif für den Verkauf von fremden Schmelzgütern.* — Nous empruntons ce tarif à M. Cordella, en réduisant le cours de l'argent, qu'il avait estimé à 160 francs, d'un quart.

soit 11 drachmes, ou, en tenant compte du bénéfice actuel sur le change (*), environ 8 francs. Les frais du traitement par voie humide sur place porteraient ce chiffre à un minimum de 20 francs.

Minerais de manganèse. — On trouve du manganèse en divers points de Milo ; mais la seule exploitation importante est celle de Chalaka, au cap Vani, qui appartient à la compagnie française Serpieri et C^e^. Le minerai de manganèse forme des couches entre la liparite et la barytine argentifère et contient, d'après Gobantz, la *Cytherea lævigata* du miocène. Les conditions de gisement rappellent donc un peu celles de San Pietro, en Sardaigne (**).

La mine occupe 2 à 300 hommes; le salaire des mineurs est de 2^dr^,50 à 3^dr^,50, celui des autres ouvriers de 1 à 1^dr^,75. La production annuelle est de 18.000 tonnes, dont 13.000 sont expédiés en Angleterre, France et Amérique; le reste, de mauvaise qualité, sert, comme fondant, au Laurium.

Soufre. — Le soufre est abondant à Milo et y a été extrait dès l'époque phénicienne. Les gisements, exploités sérieusement depuis 1862, sont au sud-est, à Paleorevma, Firlingos et Saint-Théodore, surtout à Firlingos. Le soufre, provenant de solfatares, est en poches dans le trachyte, et la teneur du minerai en soufre est d'environ 20 à 30 p. 100. 220 ouvriers travaillent à la mine; la fusion se fait dans des fours Doppioni et Gill. La production, d'environ 2.000 tonnes, est surtout utilisée en Grèce même, pour le traitement des vignes. Le prix, au détail, est de 150 francs la tonne.

Gypse. — L'État grec exploite du gypse sur le bord sud de la rade, au mont Damianos. Ce gypse est interstratifié dans le tertiaire. La production est d'environ 170 tonnes et vaut 7 à 8.000 francs; le plâtre est employé en Grèce pour le plâtrage des vins.

Alun. — L'alun est abondant, comme dans la plupart des régions trachytiques, mais inexploité; on a signalé, à tort, de l'alunite (***).

Sel. — On exploite quelques sources salées, notamment

(*) La valeur conventionnelle de la drachme est égale à celle du franc.
(**) Cf. *Gites minéraux et métallifères*, t. II, p. 25.
(***) *Gites minéraux et métallifères*, t. I, p. CXI.

celle de Protothalassa; la production annuelle est d'environ 260 tonnes.

Meulières. — Les meulières de Milo ont une très ancienne réputation en Orient (*); les mines, appartenant à l'État, sont au sud-est, près de Revma; elles produisent 25.000 à 30.000 drachmes par an. La meulière extraite, qui est très compacte et poreuse, est un trachyte presque entièrement silicifié. Les plus grandes pierres, ayant 0^m^,45 sur 0^m^,30, sont vendues, sur place, 6,5 drachmes (**). Cette industrie occupe une trentaine d'hommes.

BIBLIOGRAPHIE.

1833. — **Boblaye et Virlet.** — *Géologie de la Morée.*
1839-1840. — **Russegger.** — *Nouvelles annales de géologie*, de Leonhard et Bronn, 6^e^ fasc., 1^er^ et 2^e^ fasc.
1841. — **Fiedler.** — *Reise durch alle Theilen des Königreiches Griechenland.* Leipzig.
*1846. — **Sauvage.** — Descript. géolog. de l'île de Milo (*Annales des mines*, 4^e^, t. X, p. 69 à 100, avec carte géologique).
1887. — **G. v. Rath.** — *Einige geologische Wahrnehmungen in Griechenland* (Bonn).
1887. — **Cordella.** — *La Grèce au point de vue minéralogique et géologique.*
*1890. — **Dambergis.** — Die silberhältigen Mineralien auf der Insel Milos (*Oester. Zeit. f. Berg und Hüttenwesen*, p. 503 à 504).
*1892. — **Gobantz.** — Die silberhältigen Mineralien auf der Insel Milos (*Oester. Zeits. für Berg und Hüttenw.*, p. 213 à 216).
*1892. — **Cordella.** — *Sur les minerais d'argent de Milos* (Athènes, chez Papageorge. In-8^e^, 40 p.).
1893. — *Rapport sur l'industrie minérale en Grèce pour l'exposition de Chicago* (Athènes, impr. nat., p. 14 à 17). (Analysé in *Annales des mines*, 2^e^ vol. 1893, p. 227-232.)
*1893. — **Cottrell.** — Report on the mineral Resources of the Island of Milo (*Rapport n° 303 au Foreign Office*, miscelleneous series, 13 pages avec carte).

(*) D'après Gobantz, le voyageur italien Bondelmonti les a mentionnées déjà en 1420.
(**) Cf. Sauvage, *loc. cit.*, p. 99.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ESPAGNE EN 1892-1893 (*).

SUBSTANCES MINÉRALES.	QUANTITÉS	VALEUR
	tonnes métriques	francs
Houille	1.458.660	11.549.555
Lignite	21.053	136.958
Roches asphaltiques	668	6.905
Minerais de fer	5.425.600	20.399.452
— de fer argentifères	436	2.181
— de cuivre	685	30.090
— de plomb	338.662	30.812.713
— de zinc	62.963	1.875.649
— d'étain	243	26.453
— de mercure	37.373	9.305.766
— d'argent	1.298	1.285.074
— d'antimoine	183	3.795
— de manganèse	99	450
— de cuivre et cobalt	1.777	213.240
— de nickel et cobalt	24	360
— de nickel	29	4.485
— de soufre	24.722	298.234
Pyrites de fer	213.772	534.530
— de fer et de cuivre	2.235.245	11.128.773
— arsénicales	442	5.153
Wolfram	16	4.050
Phosphate de chaux	760	5.537
Sel (de mines)	39.229	564.734
MÉTAUX.		
Fonte	134.299	9.376.115
Fer	63.218	14.259.407
Acier	65.925	13.261.963
Cuivre (de cément et raffiné)	26.481	18.540.607
Mattes cuivreuses	16.565	4.969.592
Plomb	69.146	17.237.288
— argentifère	82.567	29.278.598
Zinc	5.972	4.323.108
Mercure	2.086	9.273.089
Argent (en kilogrammes)	60.859 kil	9.447.657

(*Extrait de la* Revue universelle des mines et de la métallurgie.)

(*) Du 1er juillet 1892 au 30 juillet 1893.

ANALYSES

DES

EAUX MINÉRALES FRANÇAISES

EXÉCUTÉES

AU BUREAU D'ESSAI DE L'ÉCOLE DES MINES

Par M. Ad. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

L'analyse des eaux minérales françaises forme une partie importante du travail effectué chaque année par le Bureau d'essai de l'École des mines, importante par le temps et les soins minutieux qu'elle exige, importante aussi par ses résultats, puisqu'elle permet aux médecins de juger des propriétés thérapeutiques des eaux; c'est ainsi que l'Académie de médecine exige presque toujours la production d'analyses de l'École des mines pour se prononcer sur l'utilité des sources nouvelles, pour lesquelles on sollicite du Ministre l'autorisation d'exploiter sur place ou de vendre les eaux.

Le plus souvent il arrive que les propriétaires des sources, à qui cette autorisation a été accordée, publient les analyses qui en ont été faites, en sorte que le travail, toujours gratuit, du Bureau d'essai se trouve utilisé et profite à la santé publique. Cependant, ces publications irrégulières et incomplètes laissent des lacunes regrettables à divers points de vue.

Il paraît y avoir utilité à revenir de temps en temps sur le travail effectué et à grouper les analyses d'eaux minérales dans une publication d'ensemble, où médecins, géologues et autres puissent facilement trouver les renseignements qu'ils désirent.

C'est ce que nous nous proposons de faire ici pour la seconde fois, en réunissant les analyses exécutées pendant les dix dernières années écoulées. Les *Annales des mines* ont déjà publié, en 1885, une première série de tableaux, dans lesquels nous avons donné la composition élémentaire de toutes les eaux analysées depuis la fondation du Bureau d'essai, en 1845, jusqu'à l'année 1884. Nous y avons présenté, en outre, la *composition calculée* des eaux pour la période de 1878 à 1884.

Appelé en 1878 à la direction du Bureau d'essai, nous avons cru devoir, sur la demande de quelques médecins, essayer de compléter l'*analyse élémentaire* des eaux, qui fait connaître la proportion de chacun des éléments dosés, par le tableau de leur *composition calculée*, obtenue en groupant les éléments entre eux conformément aux probabilités les plus grandes. Depuis cette époque, nous avons eu mainte occasion de reconnaître que cette innovation avait été bien accueillie, comme permettant d'interpréter plus aisément les analyses, et nous n'avons pas cessé de fournir ce double renseignement aux personnes qui nous ont envoyé des eaux à analyser. Nous donnerons, dans le recueil suivant, les deux sortes de renseignements en les plaçant immédiatement à la suite l'un de l'autre.

Il est bien vrai que le groupement des acides et des bases à l'état de sels en dissolution n'est pas absolument exempt d'hypothèse : on ne saurait affirmer que les éléments sont unis exclusivement de cette façon et non d'une autre, qu'il n'y a pas partage d'un acide entre plusieurs bases et d'une base entre plusieurs acides. Mais

la part de l'hypothèse n'est cependant pas aussi grande qu'on pourrait le croire au premier abord ; les recherches thermo-chimiques ont confirmé sur différents points les opinions depuis longtemps accréditées au sujet du mode de groupement des éléments dans les sels dissous.

En nous fondant sur les deux genres d'observations, thermiques et chimiques, nous avons donc cru pouvoir adopter, pour l'établissement de nos calculs sur la composition des eaux, quelques règles générales, dont la principale peut s'énoncer ainsi : *Les bases les plus fortes sont unies aux acides les plus énergiques.*

En conséquence, l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique, en général, et, dans certains cas, les acides phosphorique, arsénique, iodhydrique trouvés dans les dosages, doivent être saturés tout d'abord par les alcalis, la potasse, la soude, la lithine, puis par la magnésie, par la chaux, enfin par les protoxydes de manganèse et de fer et par l'alumine et le peroxyde de fer. Lorsque les acides forts sont en quantité insuffisante pour saturer les bases fortes, le surplus de celles-ci doit être considéré comme uni aux acides plus faibles, notamment à l'acide carbonique, à l'acide sulfhydrique ou à l'acide silicique ; mais on est fréquemment obligé d'admettre qu'une partie de ces acides faibles reste libre dans la dissolution saline. Cela résulte du calcul des analyses fait conformément aux règles que nous venons d'établir. Il arrive d'ailleurs quelquefois que les indications fournies par les réactifs colorés, apportent une confirmation directe à ces déductions théoriques.

Dans toutes nos analyses, les sels ont été calculés à l'état *anhydre*. Ce n'est là, bien entendu, qu'une simple convention et non la représentation de l'état réel des sels en dissolution ; mais cet état n'étant pas nettement

défini, il paraît nécessaire de recourir à la convention qui vient d'être signalée et qui est aujourd'hui généralement adoptée pour les analyses d'eaux minérales, comme facilitant la comparaison des résultats énoncés par les différents auteurs.

Nous avons eu soin de placer toujours, à côté de l'analyse élémentaire, l'indication du poids de l'*extrait* obtenu par évaporation d'un litre de l'eau minérale, suivie de dessiccation à la température de 180°.

Cette indication, que l'on peut contrôler assez simplement sans faire une analyse proprement dite, fournit une vérification fort utile pour l'ensemble des dosages effectués, également rapportés à un litre d'eau. Ce n'est pas que le poids du résidu et le total des éléments dosés doivent être égaux, même approximativement; mais on peut calculer leur différence d'une manière fort approchée.

En négligeant les quantités, ordinairement minimes, d'iodures et de sulfures, on peut dire, d'une façon très générale, que cette différence se compose de: 1° tout l'acide carbonique libre ; 2° la moitié de l'acide carbonique des bicarbonates ; 3° l'eau qui se trouve mise en liberté lors de la combinaison des oxydes avec l'acide chlorhydrique. Or, ces trois termes sont connus : les deux premiers figurent dans l'analyse élémentaire ; quant au poids de l'eau à déduire, il correspond, équivalent pour équivalent, à celui de l'acide chlorhydrique ; il est donc, à très peu près, le quart de celui du chlore ou de l'acide chlorhydrique dosé.

A la condition de tenir compte de la différence ainsi calculée, le poids de l'extrait fournit un très bon contrôle de l'exactitude de l'ensemble des dosages effectués. Dans certains cas seulement, quelques sels difficiles à dessécher

entièrement à 180°, sans décomposition, comme les sulfates de chaux et de magnésie, les nitrates ou le chlorure de magnésium, laissent quelque incertitude.

L'indication du poids de l'extrait, à une température déterminée, peut encore avoir une autre utilité : celle de permettre de vérifier, à toute époque, par une opération assez simple, soit à la source, soit sur des bouteilles, si la composition de l'eau, que l'on veut examiner, est ou non conforme à celle de l'eau analysée.

On peut ainsi reconnaître si une eau minérale vendue en bouteilles répond bien à son titre ; on peut également savoir si une source minérale donne, suivant les saisons, de l'eau plus ou moins diluée, par mélange avec des eaux de surface ; on peut encore constater si la qualité de l'eau a été plus ou moins modifiée par le fait du captage de la source, etc.

Nous devons faire remarquer que nos analyses s'appliquent toutes à des eaux qui ont subi l'*embouteillage* et le *transport* de la source au laboratoire. L'organisation du Bureau d'essai et son personnel très réduit (car deux chimistes seulement ont à faire annuellement un millier d'analyses environ sur les matières minérales les plus variées), ne permettent pas au chimiste chargé de l'analyse d'une eau de se transporter sur la source. Il faut donc opérer sur des eaux puisées et transportées à la diligence des personnes intéressées.

Nous recommandons toujours qu'elles soient puisées à la source dans des bouteilles parfaitement propres, lavées en dernier lieu avec l'eau de la source même, puis fermées, aussitôt après le remplissage, avec de très bons bouchons et cachetées. Nous demandons, en outre, que ces opérations soient faites en présence du maire de la commune ou de son représentant, chargé de certifier

l'origine authentique de l'eau à analyser. Sans doute, toutes les personnes, qui annoncent au Bureau d'essai l'intention de recourir à lui pour connaître la composition de leurs eaux, se conforment à ces instructions; mais il arrive souvent que les eaux ont été embouteillées et expédiées avant que le Bureau d'essai en ait été informé. Aussi ne peut-on pas affirmer que toujours les eaux présentées à l'analyse aient été prélevées et mises en bouteilles avec tous les soins convenables.

Il peut donc se produire des pertes de gaz et des altérations de l'eau minérale plus ou moins importantes, sur lesquelles il n'est pas inutile d'appeler l'attention des intéressés.

L'altération est particulièrement à craindre pour les *eaux sulfureuses*, soit qu'elles renferment des sulfures proprement dits ou de l'hydrogène sulfuré en dissolution. Les précautions les plus grandes sont indispensables soit pour le remplissage des bouteilles, soit pour leur fermeture, soit pour leur ouverture et le dosage de l'élément sulfuré. Il est rare que le dosage fait au laboratoire soit complètement d'accord avec le dosage fait à la source. Aussi le Bureau d'essai n'accepte-t-il que rarement et sous beaucoup de réserves de faire l'analyse des eaux sulfureuses qui lui sont présentées.

L'action oxydante de l'air sur la source ou sur l'eau embouteillée produit souvent une transformation partielle plus ou moins rapide des sulfures en hyposulfites; il arrive parfois, au contraire, qu'une réduction opérée sur les sulfates par les matières organiques de l'eau ou du bouchon ait pour effet de donner naissance à des sulfures. Aussi avons-nous observé, dans certains cas, que des eaux annoncées comme sulfureuses ne renfermaient plus aucun principe sulfuré après le transport. Mais, quelquefois aussi, des eaux en bouteilles bien fermées présentaient le goût et l'odeur des eaux sulfureuses, tandis

que les renseignements pris nous faisaient connaître qu'elles n'étaient pas sulfureuses à la source.

Les *eaux ferrugineuses*, qui, le plus souvent, doivent leur qualité spéciale à la présence de bicarbonate ferreux, ont besoin d'un remplissage et d'un bouchage parfaits pour supporter le transport sans altération. Il arrive fréquemment que tout ou partie du fer a formé un dépôt, où il se trouve à l'état d'hydrate de peroxyde, plus ou moins mêlé de carbonates alcalino-terreux. On peut être alors fort embarrassé pour reconnaître si le dépôt provient d'une altération antérieure ou postérieure au remplissage des bouteilles. En différentes occasions, nous avons cru devoir laisser en dehors de l'analyse la portion d'oxyde de fer qui se trouvait dans le dépôt et faire connaître la composition de l'eau restée limpide.

Les *eaux bicarbonatées calciques ou alcalines* se conservent beaucoup mieux que les précédentes et ne donnent ordinairement lieu à aucun dépôt pendant le transport de la source au laboratoire. Mais il importe que l'embouteillage soit très soigné pour éviter toute perte d'acide carbonique. A cette condition, le dosage de ce gaz peut être fait au laboratoire avec une précision suffisante. Le bouchage hermétique des bouteilles, les précautions pour la mise en bouteilles et même les circonstances atmosphériques, au moment où se fait l'opération, ont d'ailleurs une influence marquée sur la quantité d'acide carbonique libre révélé par l'analyse dans un litre d'eau gazeuse naturelle. Il n'est pas rare que, dans un même envoi, on trouve, en faisant l'essai sur plusieurs bouteilles, des quantités différentes d'acide carbonique. Mais ces différences n'affectent pas d'une façon sérieuse les propriétés médicales des eaux gazeuses.

Quant aux *eaux salines*, *chlorurées* ou *sulfatées*, elles se conservent fort bien et l'on peut compter que l'analyse

faite au laboratoire, après transport depuis la source et même après un délai d'une certaine durée, donne très sensiblement les mêmes résultats que l'analyse faite sur la source même.

Après avoir signalé les risques d'altération des diverses qualités d'eaux minérales, il n'est que juste d'ajouter que l'analyse faite à distance a l'avantage de faire connaître la *composition réelle des eaux après transport*, c'est-à-dire à l'état même où elles se trouvent lorsqu'elles doivent être employées loin de la source.

Avant de terminer ce préambule, il nous reste une dernière observation à faire sur la manière dont les sources ont été désignées dans le recueil qui va suivre. Elles sont au nombre de 207 et, à l'exception de quelques-unes, dont le captage a été refait, presque toutes différentes des 255 qui avaient été présentées dans notre première publication.

Parmi ces sources nouvelles, un certain nombre étaient déjà exploitées et, par conséquent, connues sous un nom spécial, avant que l'analyse en fût faite; il a alors suffi de faire connaître le nom de la source après celui du département et de la commune. Mais il y en a un plus grand nombre, dont les propriétés médicales étaient à peine soupçonnées, lors de l'analyse, et qui ne portaient aucune dénomination; dans ce cas, pour désigner la source analysée avec le plus de précision possible, nous avons indiqué non seulement la commune, mais le lieu dit, où elle se trouve, ou bien nous avons mis entre parenthèses le nom du propriétaire qui nous avait fait l'envoi de l'eau pour l'analyse. Au moyen de ces indications détaillées, nous espérons éviter les confusions qui auraient pu se produire, lorsque, dans une même commune, il existe plusieurs sources minérales sans dénominations particulières.

DÉPARTEMENT DE L'AISNE.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CHATEAU-THIERRY.

Commune de Château-Thierry.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES DU MONT-MARTEL n° 1	n° 2	n° 3
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	non dosé (*)	non dosé	non dosé
Acide carbonique des bicarbonates	0,2696	0,2676	0,2710
Acide chlorhydrique	0,0168	0,0183	0,0193
Acide sulfurique	0,2440	0,2290	0,2490
Acide azotique	0,0136	0,0160	0,0088
Acide phosphorique	traces	traces	traces
Silice	0,0210	0,0210	0,0200
Protoxyde de fer	0,0045	0,0036	0,0027
Chaux	0,2760	0,2590	0,2760
Magnésie	0,0450	0,0488	0,0487
Potasse	0,0119	0,0139	0,0077
Soude	0,0155	0,0143	0,0163
Matières organiques	0,0350	0,0500	0,0250
Total	0,9529	0,9415	0,9445
Extrait sec à 180°	0,821	0,845	0,770
COMPOSITION CALCULÉE.			
Silice	0,0210	0,0210	0,0200
Bicarbonate de chaux	0,2690	0,2543	0,2621
— de magnésie	0,1443	0,1565	0,1562
— de fer	0,0099	0,0080	0,0059
Sulfate de chaux	0,4148	0,3893	0,4233
Azotate de potasse	0,0257	0,0300	0,0166
Chlorure de sodium	0,0293	0,0269	0,0309
Phosphates	traces	traces	traces
Matières organiques	0,0350	0,0500	0,0250
Total	0,9490	0,9360	0,9400

Analyses du 12 avril 1893.

(*) L'acide carbonique libre n'a pas été dosé, parce que les eaux avaient été chargées artificiellement de ce gaz.

Nota. — Eau n° 3. L'analyse qualitative du *dépôt*, que l'eau naturelle tenait en suspension en proportion assez abondante, a donné : acide carbonique, acide phosphorique en proportion sensible, peroxyde de fer, chaux, traces de magnésie, matière organique tenant de l'azote. On a constaté l'absence d'acide arsénique.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER.

ARRONDISSEMENT DE GANNAT. — CANTON D'ESCUROLLES.

Commune d'Hauterive. — Source du Hammam.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,6156
Acide carbon. des bicarbonates.	3,1244
Acide chlorhydrique	0,3480
Acide sulfurique	0,2600
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0025
Chaux	0,2810
Magnésie	0,0027
Lithine	0,0005
Potasse	0,4560
Soude	2,0960
Total	7,2017
Extrait sec à 180°	4,960

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0150
Acide carbonique libre	0,6156
Bicarbonate de chaux	0,2543
— de magnésie	0,0824
— de protoxyde de fer.	0,0057
— de lithine	0,0019
— de potasse	0,8820
— de soude	4,2919
Sulfate de chaux	0,4421
Chlorure de sodium	0,5480
Total	7,1389

Analyse du 9 décembre 1893.

ARRONDISSEMENT DE GANNAT (Suite).

Commune d'Hauterive. — 2e source du Hammam.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé, par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,6660
Acide carbon. des bicarbonates.	4,2992
Acide chlorhydrique	0,3617
Acide sulfurique	0,1715
Silice	0,0130
Protoxyde de fer	0,0118
Chaux	0,2272
Magnésie	0,0242
Lithine	0,0005
Potasse	0,3583
Soude	2,8071
Matières organiques	traces
Total	9,9405
Extrait à 180°	6,100

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,6660
Silice	0,0130
Bicarbonate de chaux	0,5328
— de magnésie	0,0774
— de protoxyde de fer.	0,0262
— de lithine	0,0019
— de potasse	0,6929
— de soude	5,9552
Sulfate de soude	0,3040
Chlorure de sodium	0,5954
Matières organiques	traces
Total	9,8648

Analyse du 26 février 1894.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON. — CANTON DE MONTMARAULT.

Commune de Montmarault. — Lieu dit : *Puits de Paloys.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4875
Acide chlorhydrique	0,0880
Acide sulfurique	0,1763
Acide sulfhydrique	0,0090
Silice	0,0200
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,0692
Magnésie	0,0050
Lithine	traces très faibles
Potasse	0,0190
Soude	0,4813
Matières organiques	0,0060
Total	1,3613
Extrait sec à 180°	1,078

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0200
Bicarbonate de chaux	0,1780
— de magnésie	0,0160
— de protoxyde de fer.	traces
— de soude	0,6264
Sulfate de soude	0,3125
Sulfure de sodium	0,0209
Chlorure de sodium	0,1186
— de potassium	0,0301
— de lithium.	traces très faibles
Matières organiques	0,0060
Total	1,3285

Analyse du 17 décembre 1886.

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON. — CANTON DE MONTMARAULT (Suite).

Commune de Montmarault. — Lieu dit : *Puits de Paloys.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4750
Acide chlorhydrique	0,0635
Acide sulfurique	0,1715
Acide sulfhydrique	0,0150
Silice	0,0200
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,0980
Magnésie	0,0050
Lithine	traces très faibles
Potasse	0,0182
Soude	0,4314
Matières organiques	0,0190
Total	1,3166
Extrait sec à 180°	1,025

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0200
Bicarbonate de chaux	0,2520
— de magnésie	0,0160
— de protoxyde de fer.	traces
— de soude	0,5286
Sulfate de soude	0,3040
Sulfure de sodium	0,0366
Chlorure de sodium	0,0896
— de potassium	0,0239
— de lithium.	tr. très faibles
Matières organiques	0,0190
Total	1,2997

Analyse du 24 août 1886.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE MONTLUÇON.

Commune de Montluçon. — Source des roches de Tison.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,8410
Acide carbon. des bicarbonates.	0,3136
Acide chlorhydrique	0,0108
Acide sulfurique	0,0096
Silice	0,0250
Protoxyde de fer	0,0130
Chaux	0,0400
Magnésie	0,0140
Lithine	»
Potasse	traces
Soude	0,3100
Total	1,5770
Extrait sec à 180°	0,565

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,8410
Silice	0,0250
Bicarbonate de chaux	0,1030
— de magnésie	0,0450
— de fer	0,0280
— de soude	0,4930
Sulfate de soude	0,0170
Chlorure de sodium	0,0170
Total	1,5690

Analyse du 23 septembre 1891.

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON (Suite).

Commune de Néris. — Source des Combes.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0526
Acide chlorhydrique	0,0080
Acide sulfurique	»
Acide arsénique	0,00015
Silice	0,0090
Protoxyde de fer	0,0234
Chaux	0,0106
Magnésie	0,0034
Potasse	»
Soude	0,0069
Matières organiques	0,0050
Total	0,11905
Extrait sec à 180°	0,0910

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0090
Bicarbonate de fer	0,0320
— de chaux	0,0272
— de magnésie	0,0108
Chlorure de sodium	0,0130
Arséniate de soude	0,0002
Matières organiques	0,0050
Total	0,1172

Analyse du 30 août 1893.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE MONTLUÇON (Suite).

Commune de Vaux. — Source d'Anchaume.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	2,7720
Acide chlorhydrique	0,3450
Acide sulfurique	1,1840
Silice	0,0450
Protoxyde de fer	»
Chaux	0,1930
Magnésie	0,2950
Lithine	traces notables
Potasse	0,0270
Soude	2,4750
Total	7,3360
Extrait sec à 180°	5,880

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0450
Bicarbonate de chaux	0,4950
— de magnésie	»
— de potasse	0,0550
— de lithine	traces tr. not.
— de soude	4,1610
Sulfate de magnésie	0,8850
— de soude	1,0540
Chlorure de sodium	0,5580
Total	7,2530

Analyse du 19 mars 1889.

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON (Suite).

Commune de Vaux. — Fontaine de Sainte-Madeleine. — Domaine du Couzardat.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	1,0042
Acide chlorhydrique	0,2235
Acide sulfurique	0,4527
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0088
Chaux	0,4311
Magnésie	0,1440
Lithine	0,0060
Potasse	0,0580
Soude	0,5549
Matières organiques	0,0018
Total	2,9000
Extrait à 180°	2,460

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0150
Bicarbonate de chaux	1,1185
— de magnésie	0,4608
— de protoxyde de fer	0,0195
— de soude	0,0060
Sulfate de soude	0,8026
Chlorure de lithium	0,0155
— de sodium	0,3406
— de potassium	0,0919
Matières organiques	0,0018
Total	2,8722

Analyse du 26 décembre 1885.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE MONTLUÇON (Suite).

Commune de Vaux. — Source de Sainte-Madeleine. — Domaine de Couzardat.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,4656
Acide carbon. des bicarbonates.	0,6942
Acide chlorhydrique	0,4428
Acide sulfurique	0,2714
Silice	0,0200
Protoxyde de fer	0,0011
Chaux	0,1571
Magnésie	0,1296
Lithine	0,0063
Potasse	0,0660
Soude	0,5651
Matières organiques	0,0020
Total	2,8242
Extrait sec à 180°	1,988

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,4656
Silice	0,0200
Bicarbonate de chaux	0,5528
— de magnésie	0,4168
— de protoxyde de fer	0,0024
— de soude	0,0880
Sulfate de soude	0,4855
Chlorure de lithium	0,0161
— de potassium	0,1062
— de sodium	0,6214
Matières organiques	0,0020
Total	2,7768

Analyse du 15 février 1886.

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE. — CANTON DE CUSSET.

Commune de Vichy. — Source Lafayette.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0320
Acide carbon. des bicarbonates.	3,6040
Acide chlorhydrique	0,2566
Acide sulfurique	0,1712
Silice	0,0360
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,2773
Magnésie	0,1230
Lithine	tr. très sensibles
Potasse	0,1756
Soude	2,2928
Matières organiques	traces
Total	6,9685
Extrait sec à 180°	5,0400

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique	0,0320
Silice	0,0360
Bicarbonate de chaux	0,7119
— de magnésie	0,3930
— de potasse	0,3390
— de protoxyde de fer.	traces
— de soude	4,6780
Sulfate de soude	0,3038
Chlorure de lithium	tr. très sensibles
— de sodium	0,4110
Matières organiques	traces
Total	6,9047

Analyse du 14 avril 1888.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE (Suite).

Commune de Vichy. — Puits Dubois.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,3600
Acide carbon. des bicarbonates.	2,6480
Acide arsénique	traces
Acide chlorhydrique	0,1490
Acide sulfurique	0,0650
Silice	0,0350
Protoxyde de fer	0,0030
Chaux	0,1570
Magnésie	0,0146
Lithine	0,0035
Potasse	0,0423
Soude	1,8123
Matières organiques	traces
Total	5,2897
Extrait sec à 180°	3,5400

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,3600
Silice	0,0350
Bicarbonate de chaux	0,4030
— de magnésie	0,0480
— de protoxyde de fer.	0,0066
— de soude	4,0330
Sulfate de soude	0,1153
Chlorure de sodium	0,1790
— de potassium	0,0670
— de lithium	0,0100
Arséniate de soude	traces
Matières organiques	traces
Total	5,2569

Analyse du 13 septembre 1890.

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE (Suite).

Commune de Vichy. — Saint-Yorre. — Source Valery.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,5414
Acide carbon. des bicarbonates.	3,2546
Acide chlorhydrique	0,3482
Acide sulfurique	0,1510
Silice	0,0300
Protoxyde de fer	0,0042
Chaux	0,1316
Magnésie	0,0097
Lithine	0,0025
Potasse	0,0771
Soude	2,4858
Matières organiques	0,0015
Total	8,0376
Extrait sec à 180°	4,7800

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,5444
Silice	0,0300
Bicarbonate de chaux	0,3584
— de magnésie	0,0309
— de protoxyde de fer.	0,0092
— de lithine	0,0097
— de potasse	0,1491
— de soude	5,0152
Sulfate de soude	0,2680
Chlorure de sodium	0,5584
Matières organiques	0,0015
Total	7,9518

Analyse du 1er septembre 1885.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre. — Nouvelles sources de M. Larbaud.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	N° 1	N° 2
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,5120	1,4700
Acide carbonique des bicarbonates	3,2622	3,2710
Acide chlorhydrique	0,3508	0,3495
Acide sulfurique	0,1524	0,1537
Silice	0,0280	0,0300
Protoxyde de fer	0,0048	0,0051
Chaux	0,1360	0,1344
Magnésie	0,0104	0,0100
Lithine	0,0025	0,0025
Potasse	0,0790	0,0780
Soude	2,4867	2,4955
Matières organiques	0,0016	0,0018
Total	8,0264	8,0015
Extrait à 180°	4,7950	4,8100
COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	1,5120	1,4700
Silice	0,0280	0,0300
Bicarbonate de chaux	0,3500	0,3456
— de magnésie	0,0332	0,0320
— de protoxyde de fer	0,0106	0,0113
— de lithine	0,0097	0,0097
— de potasse	0,1528	0,1508
— de soude	5,0096	5,0308
Sulfate de soude	0,2705	0,2729
Chlorure de sodium	0,5625	0,5604
Matières organiques	0,0016	0,0018
Total	7,9405	7,9153

Analyses du 26 octobre 1885.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCE des Gravas	SOURCE Nouvelle
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,4230	0,2220
Acide carbonique des bicarbonates	3,6039	2,2872
Acide chlorhydrique	0,3556	0,2236
Acide sulfurique	0,1475	0,1030
Silice	0,0150	0,0250
Peroxyde de fer (en suspension)	0,0050	0,0210
Chaux	0,3157	0,2888
Magnésie	0,0660	0,0400
Lithine	traces	traces
Potasse	0,0550	0,0460
Soude	2,1863	1,4672
Matières organiques	0,0018	0,0022
Total	7,4748	4,7260
Extrait sec à 180°	5,1100	3,3500
COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	0,4230	0,2220
Silice	0,0150	0,0250
Bicarbonate de chaux	0,7831	0,7426
— de magnésie	0,2112	0,1280
— de lithine	traces	traces
— de potasse	0,1021	0,0891
— de soude	5,0147	2,9000
Sulfate de soude	0,2615	0,1828
Chlorure de sodium	0,5696	0,3583
Peroxyde de fer (en suspension)	0,0050	0,0210
Matières organiques	0,0018	0,0022
Total	7,3870	4,6710

Analyses du 12 août 1886.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre; ancien Champ des Boulets.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,2100
Acide carbon. des bicarbonates	1,9768
Acide chlorhydrique	0,2388
Acide sulfurique	0,1362
Silice	0,0200
Protoxyde de fer (en suspension)	0,0200
Chaux	0,3300
Magnésie	0,0300
Lithine	traces faibles
Potasse	0,0302
Soude	1,2242
Matières organiques	0,0020
Total	4,2182
Extrait sec à 180°	2,9700

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,2100
Silice	0,0200
Bicarbonate de chaux	0,8485
— de magnésie	0,0960
— de lithine	traces faibles
— de potasse	0,0579
— de soude	2,3244
Sulfate de soude	0,1931
Chlorure de sodium	0,3914
Peroxyde de fer (en suspension)	0,0200
Matières organiques	0,0020
Total	4,1633

Analyse du 14 février 1887.

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre. — Source Léon.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,7038
Acide carbon. des bicarbonates	2,8722
Acide chlorhydrique	0,2872
Acide sulfurique	0,1202
Silice	0,0540
Protoxyde de fer	0,0126
Chaux	0,1064
Magnésie	0,0086
Lithine	traces faibles
Potasse	0,0772
Soude	2,1679
Matières organiques	0,0017
Total	7,4118
Extrait sec à 180°	4,1930

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,7038
Silice	0,0540
Bicarbonate de chaux	0,2736
— de magnésie	0,0275
— de protoxyde de fer	0,0280
— de lithine	traces faibles
— de potasse	0,1492
— de soude	4,4294
Sulfate de soude	0,2133
Chlorure de sodium	0,4606
Matières organiques	0,0017
Total	7,3411

Analyse du 10 mars 1887.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre. — Source de M. Lavergne.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0500
Acide carbon. des bicarbonates	3,5800
Acide chlorhydrique	0,3470
Acide sulfurique	0,0913
Silice	0,0140
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,2583
Magnésie	0,0334
Lithine	traces notables
Potasse	0,2184
Soude	2,4204
Total	7,0128
Extrait sec à 180°	5,0280
Dépôt ferrugineux	0,0435

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,0500
Silice	0,0140
Bicarbonate de chaux	0,6637
— de magnésie	0,1108
— de protoxyde de fer	traces
— de lithine	tr. assez notab.
— de potasse	0,4228
— de soude	4,9406
Sulfate de soude	0,1620
Chlorure de sodium	0,5530
Matières organiques	traces
Total	6,9169

Analyse du 1er juillet 1888.

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre. — Lieu dit : *Lauriol.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,1910
Acide carbon. des bicarbonates	3,6380
Acide chlorhydrique	0,3501
Acide sulfurique	0,1427
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0098
Chaux	0,2480
Magnésie	0,0340
Lithine	traces notables
Potasse	0,1021
Soude	2,5670
Matières organiques	traces
Total	7,2977
Extrait à 180°	5,280

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,1910
Silice	0,0150
Bicarbonate de chaux	0,6360
— de magnésie	0,1088
— de protoxyde de fer	0,0242
— de potasse	0,1975
— de lithine	traces notables
— de soude	5,2250
Sulfate de soude	0,2526
Chlorure de sodium	0,5612
Matières organiques	traces
Total	7,2113

Analyse du 7 mars 1889.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE (Suite).

Commune de Vichy. — Saint-Yorre. — Source du Chalet.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,2290
Acide carbon. des bicarbonates	4,0830
Acide chlorhydrique	0,1700
Acide sulfurique	0,1500
Acide silicique	0,0380
Protoxyde de fer	0,0238
Chaux	0,2760
Magnésie	0,1484
Lithine	tr. très sensibles
Potasse	0,1332
Soude	2,3180
Matières organiques	»
Total	7,5754
Extrait sec à 180°	5,400

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,229
Silice	0,038
Bicarbonate de chaux	0,704
— de magnésie	0,474
— de fer	0,053
— de manganèse	traces
— de lithine	tr. notables
— de soude	5,608
Sulfate de soude	0,277
Chlorure de sodium	0,162
— de potassium	0,241
Matières organiques	tr. très faibles
Total	7,756

Analyse du 31 décembre 1891.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE (Suite).

Commune de Vichy. — Saint-Yorre.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Gauloise	Précieuse	Grande source
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	non dosé	non dosé	non dosé
Acide carbonique des bicarbonates	3,4370	2,9000	2,9599
Acide chlorhydrique	0,3468	0,2476	0,3075
Acide sulfurique	0,1472	0,1210	0,1480
Silice	0,0210	0,0250	0,0160
Protoxyde de fer	0,0207	0,0234	0,0072
Chaux	0,1660	0,1520	0,1360
Magnésie	0,0219	0,0241	0,0190
Lithine	tr. notables	tr. notables	tr. notables
Potasse	0,2320	0,1610	0,1740
Soude	2,4166	2,0129	2,1604
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	6,8392	5,6700	5,9280
Extrait sec à 180°	5,030	4,160	4,373
COMPOSITION CALCULÉE.			
Silice	0,0210	0,0250	0,0160
Bicarbonate de chaux	0,4278	0,3918	0,3496
— de magnésie	0,0699	0,0771	0,0608
— de fer	0,0459	0,0524	0,0158
— de soude	4,9185	4,1349	4,3169
— de potasse	0,4492	0,3174	0,3368
— de lithine	tr. notables	tr. notables	tr. notables
Chlorure de sodium	0,5560	0,3970	0,4930
Sulfate de soude	0,2610	0,2117	0,2627
Total	6,7493	5,6103	5,8516

Analyses du 31 mars 1892.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE (Suite).

Commune de Vichy. — Saint-Yorre.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Renée	Grande-Grotte	Château-Robert
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,0350	1,7300	1,6080
Acide carbonique des bicarbonates	3,4892	3,6704	3,4870
Acide chlorhydrique	0,3356	0,3200	0,3294
Acide sulfurique	0,1421	0,1380	0,1431
Silice	0,0140	0,0190	0,0140
Protoxyde de fer	0,0036	traces	»
Chaux	0,2320	0,2950	0,1950
Magnésie	0,0230	0,0230	0,0250
Lithine	traces sens.	traces sens.	traces sens.
Potasse	0,1734	0,1621	0,0938
Soude	2,4430	2,4973	2,5310
Matières organiques	traces	traces	trac. faibles
Total	7,8908	8,8548	8,4263
Extrait sec à 180°	4,940	5,150	4,930
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	1,0350	1,7300	1,6080
Silice	0,0140	0,0190	0,0140
Bicarbonate de chaux	0,5960	0,7570	0,5030
— de magnésie	0,0730	0,0730	0,0810
— de fer	0,0064	traces	»
— de lithine	traces sens.	traces sens.	traces sens.
— de potasse	0,3350	0,3140	0,1820
— de soude	4,9550	5,1230	5,1770
Sulfate de soude	0,2520	0,2440	0,2540
Chlorure de sodium	0,5380	0,5150	0,5280
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	7,8044	8,7750	8,3470

Analyses du 3 juin 1893.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE.

Commune de Vichy. — Saint-Yorre.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES du Potager	du Pavillon (puits)	Centrale
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,1321	0,2124	0,1974
Acide carbonique des bicarbonates	1,0517	1,0709	4,3861
Acide chlorhydrique	0,1006	0,1125	0,3400
Acide sulfurique	0,0480	0,0588	0,1384
Silice	0,0100	0,0140	0,0060
Protoxyde de fer	»	»	tr. faibles
Chaux	0,0560	0,0784	0,5895
Magnésie	0,0230	0,0333	0,0600
Lithine	tr. faibles	tr. faibles	tr. sens.
Potasse	0,0305	0,0300	0,1525
Soude	0,7460	0,7366	2,5224
Matières organiques	tr. sens.	traces	traces
Total	2,1979	2,3469	8,3923
Peroxyde de fer en suspension	0,0050	0,0050	0,0110
Extrait sec à 180°	1,510	1,570	5,910
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique	0,1321	0,2124	0,1974
Silice	0,0100	0,0140	0,0060
Bicarbonate de chaux	0,1440	0,2016	1,5605
— de magnésie	0,0736	0,1072	0,1920
— de lithine	tr. faibles	tr. faibles	tr. sens.
— de potasse	0,0590	0,0580	0,2949
— de soude	1,5070	1,4418	5,3178
Sulfate de soude	0,0849	0,1042	0,2454
Chlorure de sodium	0,1648	0,1823	0,5438
Matières organiques	tr. sens.	tr. faibles	traces
Total	2,1754	2,3215	8,3578

Analyses du 18 décembre 1893.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LAPALISSE. — CANTON DE VICHY.

Commune de Saint-Yorre. — Source Deux-Étoiles (M. Mercier-Darbaud aîné).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,9646
Acide carb. des bicarbonates.	2,9897
Acide chlorhydrique	0,3450
Acide sulfurique	0,1540
Acide arsénique	0,001075
Silice	0,0125
Protoxyde de fer	0,0162
— de manganèse	traces
Chaux	0,1225
Magnésie	0,0072
Lithine	tr. notables
Potasse	0,1590
Soude	2,2553
Total	7,027075
Extrait sec à 180°	4,8000

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,9646
Silice	0,0125
Bicarbonate de chaux	0,3150
— de magnésie	0,0230
— de protox. de fer.	0,0360
Bicarbonate de protoxyde de manganèse	traces
Bicarbonate de lithine	tr. notables
— de potasse	0,3075
— de soude	4,4535
Sulfate de soude	0,2744
Arséniate de soude (anhydre)	0,00166
Chlorure de sodium	0,5545
Total	6,94266

Analyse du 30 juin 1894.

DÉPARTEMENT DES BASSES-ALPES.

ARRONDISSEMENT DE BARCELONNETTE.

Commune de Barcelonnette. — Source de Riou-Chanal.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,3600
Acide chlorhydrique	»
Acide sulfurique	0,2190
Silice	»
Protoxyde de fer	»
Chaux	0,2300
Magnésie	0,0660
Potasse	»
Soude	0,0670
Matières organiques	traces
Total	0,9420
Extrait sec à 180°	0,770

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Bicarbonate de chaux	0,5900
Sulfate de magnésie	0,1980
— de soude	0,1540
Chlorure de sodium	absence
Matières organiques	traces
Total	0,9420

Analyse du 27 novembre 1890.

DÉPARTEMENT DES BASSES-ALPES (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE FORCALQUIER.

Commune de Mane (M. Martin).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2596
Acide chlorhydrique	0,0071
Acide sulfurique	0,3518
Acide sulfhydrique	0,0138
Silice	0,0500
Protoxyde de fer	tr. très faibles
Chaux	0,2464
Magnésie	0,0333
Potasse	tr. très faibles
Soude	0,1672
Matières organiques	0,0028
Total	1,1320
Extrait sec à 180°	0,970

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0500
Bicarbte de protox. de fer.	tr. très faibles
Bicarbonate de magnésie	0,1061
— de chaux	0,3168
Sulfate de chaux	0,2991
— de soude	0,3120
Sulfure de sodium	0,0317
Chlorure de sodium	0,0112
— de potassium	traces faibles
Matières organiques	0,0028
Total	1,1297

Analyse du 28 octobre 1887.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.

ARRONDISSEMENT DE LARGENTIÈRE.

Canton de Thueyts. — Commune de Meyras. — Source de Neyrac-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,1500
Acide carbon. des bicarbonates.	0,6020
Acide chlorhydrique	0,0053
Acide sulfurique	»
Silice	0,0780
Protoxyde de fer	0,0056
Chaux	0,1850
Magnésie	0,0560
Lithine	tr. notables
Potasse	0,0350
Soude	0,1620
Matières organiques	traces
Total	1,2789
Extrait sec à 180°	0,824

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,1500
Silice	0,0780
Bicarbonate de chaux	0,4010
— de magnésie	0,1792
— de protoxyde de fer.	0,0100
— de potasse	0,0676
— de lithine	tr. notables
— de soude	0,3834
Chlorure de sodium	0,0085
Matières organiques	traces
Sulfates	absence
Total	1,2777

Analyse du 28 février 1889.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS.

Commune de Vals. — Sources Saint-Jean.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	DES GARNEYRES	IMPÉRATRICE	LACHAUD
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,7618	2,1500	2,4628
Acide carbonique des bicarbonates	0,9662	0,5560	0,3400
Acide chlorhydrique	0,0203	0,0122	0,0056
Acide sulfurique	0,0117	0,0141	0,0082
Silice	0,0420	0,0300	0,0260
Protoxyde de fer	0,0027	0,0117	0,0063
Chaux	0,0717	0,0756	0,0634
Magnésie	0,0277	0,0299	0,0252
Potasse	0,0256	0,0144	0,0062
Soude	0,3655	0,2471	0,1322
Matières organiques	0,0020	0,0022	0,0015
Total	3,4972	3,1432	3,0774
Extrait sec à 180°	1,246	0,692	0,440
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	1,7618	2,1500	2,4628
Silice	0,0420	0,0300	0,0260
Bicarbonate de chaux	0,1843	0,1944	0,1627
— de magnésie	0,0887	0,0597	0,0806
— de protoxyde de fer	0,0059	0,0258	0,0139
— de potasse	0,0494	0,0278	0,0120
— de soude	1,3048	0,5462	0,2930
Sulfate de soude	0,0207	0,0250	0,0146
Chlorure de sodium	0,0326	0,0195	0,0089
Matières organiques	0,0020	0,0022	0,0015
Total	3,4922	3,1166	3,0760

Analyses du 28 mars 1885.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS.

Commune de Vals.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Camuse	St-Vincent-de-Paul	Saint-Jean
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,6132	1,3640	2,0184
Acide carbonique des bicarbonates	1,2590	0,3740	0,3576
Acide chlorhydrique	0,0254	0,0158	0,0137
Acide sulfurique	0,1029	0,0127	0,0172
Silice	0,0570	0,0460	0,0480
Protoxyde de fer	0,0072	0,0065	0,0086
Chaux	0,0532	0,0577	0,0650
Magnésie	0,0303	0,0227	0,0238
Potasse	0,0135	0,0106	0,0109
Soude	0,8676	0,1752	0,1536
Matières organiques	0,0025	0,0037	0,0033
Total	4,0318	2,0889	2,7201
Extrait sec à 180°	1,786	0,532	0,516
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	1,6132	1,3640	2,0184
Silice	0,0570	0,0460	0,0480
Bicarbonate de chaux	0,1368	0,1483	0,1670
— de magnésie	0,0969	0,0725	0,0762
— de protoxyde de fer	0,0158	0,0143	0,0190
— de potasse	0,0261	0,0204	0,0211
— de soude	1,8538	0,3680	0,3113
Sulfate de soude	0,1828	0,0225	0,0305
Chlorure de sodium	0,0407	0,0253	0,0220
Matières organiques	0,0025	0,0037	0,0033
Total	4,0256	2,0850	2,7168

Analyses du 23 novembre 1886.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite).

Commune de Vals. — Source la Gazeuse.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	2,1450
Acide carbon. des bicarbonates.	1,5950
Acide chlorhydrique	0,0305
Acide sulfurique	0,0144
Silice	0,0720
Protoxyde de fer	0,0070
Chaux	0,1305
Magnésie	0,0648
Potasse	0,0115
Soude	0,9026
Matières organiques	0,0017
Total	4,9757
Extrait sec à 180°	2,073

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	2,1450
Silice	0,0720
Bicarbonate de chaux	0,3355
— de magnésie	0,2038
— de protoxyde de fer.	0,0171
— de potasse	0,0223
— de soude	2,0944
Sulfate de soude	0,0256
Chlorure de sodium	0,0488
Matières organiques.	0,0017
Total	4,9682

Analyse du 23 novembre 1886.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite),

Commune de Vals.

	SOURCES			
ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	des Garneyres	Saint-Jean	Lachaud	de l'Impératrice
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,7618	2,0666	1,9300	1,8800
Acide carbonique des bicarbonates.	0,9717	0,3786	0,3400	0,9366
Acide chlorhydrique	0,0253	0,0204	0,0102	0,0534
Acide sulfurique	0,0117	0,0172	0,0082	0,0141
Silice	0,0420	0,0480	0,0260	0,0300
Protoxyde de fer	0,0027	0,0088	0,0063	0,0200
Chaux	0,0787	0,0860	0,0634	0,3010
Magnésie	0,0277	0,0238	0,0252	0,0300
Potasse	0,0256	0,0109	0,0062	0,0144
Soude	0,5695	0,1541	0,1365	0,2471
Matières organiques	0,0020	0,0033	0,0015	0,0022
Total	3,5187	2,8177	2,5335	2,5288
Extrait sec à 180°	1,246	0,536	0,460	1,098
COMPOSITION CALCULÉE.				
Acide carbonique libre	1,7618	2,0666	1,9300	1,8800
Silice	0,0420	0,0480	0,0260	0,0300
Bicarbonate de chaux	0,1924	0,2080	0,1627	0,7776
— de magnésie	0,0887	0,0762	0,0806	0,0960
— de protoxyde de fer	0,0059	0,0088	0,0139	0,0200
— de potasse	0,0494	0,0211	0,0120	0,0278
— de soude	1,3048	0,3113	0,2930	0,5462
Sulfate de soude	0,0207	0,0305	0,0146	0,0250
Chlorure de sodium	0,0410	0,0327	0,0178	0,0935
Matières organiques	0,0020	0,0033	0,0015	0,0022
Total	3,5087	2,8065	2,5521	3,4983

Analyses du 24 mai 1887.

Dans les sources Saint-Jean et l'Impératrice, le fer était à l'état d'hydrate de peroxyde en suspension.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite).

Commune de Vals.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Casimir	Marie-Joseph	de la Grotte
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	2,0384	1,9086	1,7140
Acide carbonique des bicarbonates	1,3276	1,1274	0,8160
Acide chlorhydrique	0,0254	0,0221	0,0157
Acide sulfurique	0,0161	0,0141	0,0109
Silice	0,0650	0,0550	0,0400
Protoxyde de fer	0,0075	0,0054	0,0060
Chaux	0,0885	0,0767	0,0549
Magnésie	0,0483	0,0396	0,0280
Lithine	traces sens.	traces	tr. faibles
Potasse	0,0405	0,0337	0,0241
Soude	0,7634	0,6508	0,4722
Matières organiques	0,0020	0,0020	0,0020
Total	4,4227	3,9354	3,1838
Extrait de 180°	1,703	1,456	1,052
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	2,0834	1,9086	1,7140
Silice	0,0650	0,0550	0,0400
Bicarbonate de chaux	0,2275	0,1973	0,1411
— de magnésie	0,1545	0,1266	0,0896
— de lithine	traces sens.	traces	tr. faibles
— de protoxyde de fer	0,0167	0,0120	0,0132
— de potasse	0,0783	0,0651	0,0457
— de soude	1,7647	1,5029	1,0897
Sulfate de soude	0,0286	0,0249	0,0194
Chlorure de sodium	0,0407	0,0354	0,0252
Matières organiques	0,0020	0,0020	0,0020
Total	4,4164	3,9298	3,1799

Analyses du 4 août 1887.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite).

Commune de Vals. — Source dite : *La Lorraine.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique	1,3200	Acide carbonique libre	1,3200
Acide carbon. des bicarbonates	3,0412	Silice	0,0800
Acide chlorhydrique	0,0597	Bicarbonate de chaux	0,6094
Acide sulfurique	0,0212	— de magnésie	0,4736
Silice	0,0800	— de protoxyde de fer	0,0268
Protoxyde de fer	0,0121	— de lithine	traces sensibles
Chaux	0,2370	— de potasse	0,3359
Magnésie	0,1480	— de soude	3,6903
Lithine	traces sensibles	Sulfate de soude	0,0375
Potasse	0,1737	Chlorure de sodium	0,0957
Soude	1,5910	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces	Total	6,6692
Total	6,6839		
Extrait sec à 180°	3,932		

Analyse du 14 avril 1888.

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite).

Commune de Vals. — Source des Augustins.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	1,4650	Acide carbonique libre	1,4650
Acide carbon. des bicarbonates	0,8258	Silice	0,0320
Acide chlorhydrique	0,0305	Bicarbonate de chaux	0,1248
Acide sulfurique	0,0191	— de magnésie	0,0832
Silice	0,0320	— de fer	0,0022
Protoxyde de fer	0,0010	— de lithine	traces
Chaux	0,0480	— de potasse	0,0745
Magnésie	0,0260	— de soude	1,1204
Lithine	traces	Sulfate de soude	0,0870
Potasse	0,0385	Chlorure de sodium	0,0489
Soude	0,5280	Total	3,0380
Matières organiques	traces		
Total	3,0439		
Extrait sec à 180°	1,125		

Analyse du 19 août 1893.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'ENTRAIGUES.

Commune d'Aizac, près Vals (M. H. Jourdan).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCE A	SOURCE B
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,8767	1,7376
Acide carbonique des bicarbonates	0,3365	0,8144
Acide chlorhydrique	0,0033	0,0108
Acide sulfurique	0,0045	0,0052
Silice	0,0550	0,0620
Protoxyde de fer	0,0068	0,0094
Chaux	0,1456	0,3024
Magnésie	0,0396	0,0973
Potasse	0,0008	0,0027
Soude	0,0144	0,0915
Matières organiques	0,0016	0,0018
Total	2,4848	3,1351
Extrait sec à 180°	0,437	0,983
COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	1,8767	1,7376
Silice	0,0550	0,0620
Bicarbonate de chaux	0,3744	0,7776
— de magnésie	0,1268	0,3114
— de protoxyde de fer	0,0151	0,0208
— de potasse	0,0015	0,0052
— de soude	0,0198	0,1896
Sulfate de soude	0,0079	0,0092
Chlorure de sodium	0,0053	0,0172
Matières organiques	0,0016	0,0018
Total	2,4841	3,1324

Analyses du 6 décembre 1886.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite).

Commune de Saint-Sauveur-de-Montagut, lieu dit Bonnefond. rive droite de la Gleyre (M. Adon).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,8880	Acide carbonique libre	0,8880
Acide carbon. des bicarbonates.	2,4096	Silice	0,0180
Acide chlorhydrique	0,3529	Bicarbonate de chaux	0,3760
Acide sulfurique	0,0066	— de magnésie	0,1170
Acide arsénique	tr. à peine sens.	— de protoxyde de fer.	0,0168
Silice	0,0180	— de soude	3,5750
Protoxyde de fer	0,0077	Sulfate de soude	0,0117
Chaux	0,1116	Arséniate de soude	tr. très faibles
Magnésie	0,0350	Chlorure de sodium	0,4818
Lithine	0,0015	— de potassium	0,0984
Potasse	0,0624	— de lithium	0,0043
Soude	1,7456	Matières organiques	0,0090
Matières organiques	0,0090	Total	5,5960
Total	5,6479		
Extrait sec à 180°	3,510		
En outre, dépôt : Peroxyde de fer	0,0166		
En outre, dépôt : Acide arsénique	0,0002		

Analyse du 23 mars 1885.

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS (Suite).

Canton de Saint-Pierre-Ville. — Commune de Saint-Sauveur-de-Montagut (M. Henri Perrin).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	1,9440	Acide carbonique libre	1,9440
Acide carbon. des bicarbonates.	2,0550	Silice	0,0550
Acide chlorhydrique	0,2630	Bicarbonate de chaux	0,3340
Acide sulfurique	0,0230	— de magnésie	0,1920
Silice	0,0550	— de protoxyde de fer.	0,0010
Protoxyde de fer	0,0004	— de protox. mangan.	0,0040
— de manganèse	0,0018	— de lithine	traces
Chaux	0,1300	— de potasse	0,0130
Magnésie	0,0600	— de soude	2,9190
Lithine	traces	Sulfate de soude	0,0410
Potasse	0,0070	Chlorure de sodium	0,4210
Soude	1,4480	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces	Total	5,9240
Total	5,9872		
Extrait sec à 180°	2,958		
En outre, dépôt ferrugineux et manganésifère	0,0190		

Analyse du 15 juin 1880.

DÉPARTEMENT DE L'ARIÈGE.

ARRONDISSEMENT DE FOIX.

Commune d'Aston.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES n° 1 [eau sulfureuse (*), fontaine des Fromages]	SOURCES n° 2 (eau ferrugineuse d'Aston)
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,0600	0,0622
Acide chlorhydrique	0,0105	traces
Acide sulfurique	0,0212	0,0127
Silice	0,0416	0,0260
Protoxyde de fer	»	0,0036
Chaux	0,0040	0,0245
Magnésie	traces	0,0100
Lithine	traces	traces
Potasse	0,0018	traces
Soude	0,0624	0,0105
Matières organiques	0,0150	0,0050
Total	0,2165	0,1545
Extrait sec à 180°	0,180	0,115
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0416	0,0260
Bicarbonate de chaux	0,0102	0,0586
— de magnésie	traces	0,0320
— de protoxyde de fer	»	0,0080
— de soude	0,0918	»
Sulfate de chaux	»	0,0041
— de soude	0,0378	0,0208
Chlorure de sodium	0,0148	traces
— de potassium	0,0028	traces
— de lithium	traces	traces
Matières organiques	0,0150	0,0050
Total	0,2140	0,1545

Analyses du 24 février 1890.

(*) L'eau ne renfermait, à l'ouverture des bouteilles, ni sulfure, ni hydrogène sulfuré, mais des traces d'hyposulfite.

DÉPARTEMENT DE L'AUDE.

ARRONDISSEMENT DE LIMOUX.

Canton d'Axat. — Commune d'Escouloubre.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES CHAUDES n° 1	SOURCES CHAUDES n° 2	SOURCE froide n° 3
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,0658	0,0636	0,0813
Acide carbonique des bicarbonates	0,0992	0,0986	0,1067
Acide chlorhydrique	0,0033	0,0030	0,0026
Acide sulfurique	0,0113	0,0106	0,0093
Acide sulfhydrique	0,0012	traces	traces
Silice	0,0300	0,0320	0,0220
Protoxyde de fer	0,0003	0,0003	0,0004
Chaux	0,0067	0,0078	0,0235
Magnésie	0,0005	0,0006	0,0043
Potasse	traces	traces	traces
Soude	0,0732	0,0705	0,0515
Matières organiques	0,0010	0,0013	0,0017
Total	0,2925	0,2883	0,3033
Extrait sec à 180°	0,176	0,174	0,160
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	0,0658	0,0636	0,0813
Silice	0,0300	0,0320	0,0220
Bicarbonate de chaux	0,0173	0,0202	0,0605
— de magnésie	0,0016	0,0019	0,0137
— de protoxyde de fer	0,0007	0,0007	0,0009
— de potasse	traces	traces	traces
— de soude	0,1486	0,1443	0,1020
Sulfate de soude	0,0201	0,0188	0,0165
Chlorure de sodium	0,0053	0,0049	0,0041
Sulfure de sodium	0,0027	traces	traces
Matières organiques	0,0010	0,0013	0,0017
Total	0,2931	0,2877	0,3027

Analyses du 13 juillet 1886.

DEPARTEMENT DE L'AUDE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LIMOUX. — CANTON DE COUIZA.

Commune de Rennes-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCE Marie Gastilleur	FONTAINE d'Amour
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,2200	0,0732
Acide chlorhydrique	0,1900	0,0140
Acide sulfurique	0,0480	0,1030
Silice	0,0150	0,0080
Protoxyde de fer	traces	traces
Chaux	0,1456	0,0784
Magnésie	0,0500	0,0033
Potasse	0,0180	traces
Soude	0,0602	0,0456
Matières organiques	0,0020	0,0012
Totaux	0,7488	0,3267
Extrait sec à 180°	0,600	0,270
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0150	0,0080
Bicarbonate de chaux	0,3600	0,1080
— de magnésie	»	0,0105
— de protoxyde de fer	traces	traces
Sulfate de chaux	0,0136	0,0096
— de magnésie	0,0600	»
— de soude	»	0,0812
Chlorure de magnésium	0,0705	»
— de potassium	0,0335	traces
— de sodium	0,1584	0,0216
Matières organiques	0,0020	0,0012
Total	0,7130	0,3241

Analyses du 24 août 1886.

DÉPARTEMENT DE L'AUDE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LIMOUX — CANTON DE COUIZA (Suite).

Commune de Rennes-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCE de la Reine	BAIN FORT
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,1552	0,0916
Acide chlorhydrique	0,1371	0,1701
Acide sulfurique	0,0412	0,0420
Silice	0,0200	0,0150
Protoxyde de fer	traces	traces
Chaux	0,1258	0,0877
Magnésie	0,0432	0,0576
Potasse	0,0170	0,0196
Soude	0,0392	0,0423
Matières organiques	0,0022	0,0017
Total	0,5809	0,5276
Extrait sec à 180°	0,470	0,0440
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0200	0,0150
Bicarbonate de chaux	0,2494	0,1499
— de protoxyde de fer	traces	traces
Sulfate de chaux	0,0700	0,0714
Chlorure de magnésium	0,1016	0,1345
— de potassium	0,0268	0,0309
— de sodium	0,0741	0,0801
Matières organiques	0,0022	0,0017
Total	0,5441	0,4835

Analyses du 6 décembre 1886.

DÉPARTEMENT DE L'AUDE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LIMOUX. — CANTON DE COUIZA (Suite).

Commune de Rennes-les-Bains. — Source Marie.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1358
Acide chlorhydrique	0,1374
Acide sulfurique	0,0408
Silice	0,0300
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,1150
Magnésie	0,0350
Potasse	0,0084
Soude	0,0570
Matières organiques	traces
Total	0,5594
Extrait sec à 180°	0,470

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Silice	0,0300
Bicarbonate de chaux	0,2223
— de fer	traces
Sulfate de chaux	0,0693
Chlorure de magnésium	0,0831
— de potassium	0,0134
— de sodium	0,1076
Matières organiques	traces
Total	0,5257

Analyse du 15 novembre 1889.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE LIMOUX.

Commune d'Alet. — Source dite : *Romaine*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2298
Acide chlorhydrique	0,0071
Acide sulfurique	0,0133
Silice	0,0023
Protoxyde de fer	0,0018
Chaux	0,0811
Magnésie	0,0416
Potasse	0,0136
Lithine	traces faibles
Soude	0,0135
Matières organiques	traces
Total	0,4041
Extrait sec à 180°	0,295

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Silice	0,0023
Bicarbonate de chaux	0,2090
— de magnésie	0,1330
— de protoxyde de fer	0,0041
— de potasse	0,0180
Sulfate de potasse	0,0080
— de soude	0,0169
Chlorure de potassium	traces
— de sodium	0,0115
— de lithium	traces faibles
Matières organiques	traces
Total	0,4028

Analyse du 17 octobre 1888.

DÉPARTEMENT DE L'AUDE (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE LIMOUX (Suite).

Commune d'Alet (M. Cubat).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0230
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2574
Acide chlorhydrique	0,0102
Acide sulfurique	0,0282
Silice	0,0300
Protoxyde de fer	0,0004
Chaux	0,0952
Magnésie	0,0488
Potasse	0,0033
Soude	0,0281
Matières organiques	traces
Total	0,5246
Extrait sec à 180°	0,400

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,0230
Silice	0,0300
Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0009
— de chaux	0,2448
— de magnésie	0,1561
Sulfate de soude	0,0500
Chlorure de sodium	0,0121
— de potassium	0,0053
Matières organiques	traces
Total	0,5222

Analyse du 5 mai 1894.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE LIMOUX (Suite).

Commune d'Alet. — Source du Moulin-des-Eaux-Chaudes (M. Antonin Mandoul).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0292
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2468
Acide chlorhydrique	0,0101
Acide sulfurique	0,0274
Silice	0,0050
Protoxyde de fer	0,0004
Chaux	0,0850
Magnésie	0,0510
Lithine	»
Potasse	0,0033
Soude	0,0258
Total	0,4840
Extrait sec à 180°	0,400

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,0292
Silice	0,0050
Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0009
— de chaux	0,2184
— de magnésie	0,1632
Sulfate de soude	0,0486
Chlorure de sodium	0,0120
— de potassium	0,0053
Total	0,4826

Analyse du 8 août 1894.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.

ARRONDISSEMENT DE RODEZ. — CANTON DE MARCILLAC.

Commune de Salles-la-Source. — Lieu dit : *Le Pont.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4400
Acide sulfhydrique	0,0045
Acide chlorhydrique	0,0207
Soufre à l'état d'hyposulfite	0,0019
Acide sulfurique	0,4820
Silice	0,0120
Protoxyde de fer	»
Chaux	0,4750
Magnésie	0,1080
Potasse	0,0050
Soude	0,0140
Matières organiques	traces
Total	1,5631
Extrait sec à 180°	1,340

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	traces
Acide sulfhydrique	0,0045
Silice	0,0120
Bicarbonate de chaux	0,7200
Sulfate de chaux	0,4650
Hyposulfite de chaux	0,0090
Sulfate de magnésie	0,3240
Chlorure de sodium	0,0270
— de potassium	0,0080
Matières organiques	traces
Total	1,5695

Analyse du 19 avril 1890.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEMENT DE VILLEFRANCHE. — CANTON D'AUBIN.

Commune de Cransac.

	SOURCES DE FRAYSSE	
ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	n° 1	n° 2
	gr.	gr.
On a dosé par litre d'eau :		
Acide azotique	0,2848	0,0920
Acide chlorhydrique	0,0485	0,0160
Acide sulfurique	0,4580	1,5740
Silice	0,0250	0,0460
Alumine	0,0016	0,0840
Peroxyde de fer	0,0007	0,0035
Protoxyde de manganèse	0,0059	0,0729
Chaux	0,1682	0,2870
Magnésie	0,1405	0,4371
Potasse	0,1663	0,0800
Soude	0,0412	0,0143
Lithine	tr. faibles	tr. faibles
Total	1,3367	2,7068
Extrait sec à 180°	1,250	2,700
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0250	0,0460
Sulfate de chaux	0,2757	0,6970
— de magnésie	0,4215	1,3113
— de manganèse	0,0127	0,1550
— d'alumine	0,0087	0,2790
— de peroxyde de fer	0,0017	0,0087
Azotate de chaux	0,1435	»
— de potasse	0,3574	0,1720
Chlorure de sodium	0,0778	0,0270
— de lithium	tr. faibles	tr. faibles
Total	1,3240	2,6960

Analyses du 5 juin 1888.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEMENT DE VILLEFRANCHE (Suite).

Commune de Cransac.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES				
	Valette	Galtié	Euphrasie-Rose-Galtié	Haute-Albagnac	Basse-Albagnac
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0440	traces	0,0088	0,0180	0,0056
Acide azotique	0,3660	0,1460	0,0121	0,1770	0,0063
Acide chlorhydrique	0,0648	0,0129	0,0389	0,0289	0,0173
Acide sulfurique	0,2670	0,7350	0,6760	0,6060	0,3950
Silice	0,0300	0,0240	0,0062	0,0032	0,0032
Protoxyde de fer	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
— de manganèse	0,0009	0,0009	0,0018	tr. faibles	absence
Chaux	0,2020	0,4380	0,2510	0,3160	0,1540
Magnésie	0,0998	0,1040	0,1610	0,1490	0,0915
Potasse	0,0096	0,0130	0,0107	0,0075	0,0056
Lithine	traces	traces	traces	traces	traces
Soude	0,0552	0,0110	0,0331	0,0245	0,0147
Total	1,2303	1,4858	1,2006	1,3311	0,6942
Extrait sec à 180°	0,847	1,330	1,196	1,171	1,734
COMPOSITION CALCULÉE.					
Silice	0,0300	0,0240	0,0062	0,0032	0,0032
Bicarbonate de chaux	0,0720	traces	0,0144	0,0315	0,0093
Sulfate de chaux	0,1156	0,8959	0,5950	0,5219	0,3604
— de magnésie	0,2994	0,3120	0,4830	0,4470	0,2745
— de peroxyde de fer	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
— de manganèse	0,0019	0,0019	0,0038	traces	absence
Azotate de chaux	0,5380	0,2020	traces	0,2566	traces
— de potasse	0,0205	0,0272	0,0228	0,0160	0,0119
Chlorure de lithium	traces	traces	traces	traces	traces
— de sodium	0,1044	0,0208	0,0626	0,0464	0,0278
Total	1,1843	1,4863	1,1903	1,3251	0,6896

Analyses du 22 janvier 1889.

Le résidu des eaux diffère du total des corps dosés à cause de la décomposition partielle des azotates à 180°.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEMENT DE VILLEFRANCHE (Suite).

Commune de Cransac.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCEES	
	Roques	Rouquette
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide azotique	0,0160	0,1043
Acide chlorhydrique	0,0390	0,1530
Acide sulfurique	1,5220	0,4980
Silice	0,0620	0,0220
Alumine	0,0093	0,0071
Peroxyde de fer	traces	traces
Protoxyde de manganèse	0,0288	0,0093
Chaux	0,4470	0,1610
Magnésie	0,4150	0,1200
Lithine	traces à peine sensibles	
Potasse	0,0140	0,0907
Soude	0,0135	0,0524
Matières organiques	»	»
Total	2,5666	1,2278
Extrait sec à 180°	2,503	1,145
COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique	»	»
Silice	0,0300	0,0230
Sulfate d'alumine	traces	traces
— de peroxyde de fer	0,0610	0,0197
— de manganèse	1,0850	0,3910
— de chaux	1,2460	0,3600
— de magnésie	0,0300	0,1950
Azotate de potasse	0,0250	0,0990
Chlorure de sodium	tr. très faib.	tr. faibles
— de lithium		
Total	2,5390	1,1197

Analyses du 25 mai 1889.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEMENT DE VILLEFRANCHE (Suite).

Commune de Cransac (M. Roques).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES n° 1	SOURCES n° 2
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide azotique	0,0379	0,0262
Acide chlorhydrique	0,0156	0,0137
Acide sulfurique	0,3430	1,4515
Silice	0,0560	0,0620
Protoxyde de manganèse	0,0056	0,0070
Peroxyde de fer	»	0,1270
Alumine	»	0,1340
Chaux	0,1200	0,3156
Magnésie	0,0650	0,2190
Potasse	0,0331	0,0208
Soude	0,0442	0,0523
Total	0,7204	2,4291
Extrait sec à 180°	0,710	2,275
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0560	0,0620
Sulfate d'alumine	»	0,4462
— de peroxyde de fer	»	0,3175
— de protoxyde de manganèse	0,0120	0,0150
— de chaux	0,2910	0,7660
— de magnésie	0,1950	0,6570
— de soude	0,0710	0,0930
Chlorure de sodium	0,0250	0,0220
Azotate de potasse	0,0710	0,0470
Total	0,7210	2,4257

Analyses du 26 juillet 1892.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEM. DE VILLEFRANCHE. — CANT. ET COMM. DE DECAZEVILLE.

Source de Fareyrès (M. Soulage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2274	Silice	0,0300
Acide chlorhydrique	0,0457	Bicarbonate de chaux	8,3721
Acide sulfurique	1,7562	Sulfate de chaux	0,9058
Silice	0,0300	— de magnésie	1,4040
Peroxyde de fer (en suspension)	0,0310	— de soude	0,5057
Chaux	0,5179	Chlorure de sodium	0,0731
Magnésie	0,4680	— de potassium	0,0025
Potasse	0,0016	Matières organiques	0,0033
Soude	0,2567	Peroxyde de fer (en suspension)	0,0310
Matières organiques	0,0033	Total	3,3275
Total	3,3378		
Extrait sec à 180°	3,140		

Analyse du 3 août 1887.

DÉPARTEMENT DU CALVADOS.

ARRONDISSEMENT DE FALAISE. — CANTON DE BRETTEVILLE-SUR-LAIZE.

Commune de Boulon. — Ancienne source du Beffeu.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0250	Acide carbonique libre	0,0250
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1256	Silice	0,0120
Acide chlorhydrique	0,0224	Bicarbonate de chaux	0,1540
Acide sulfurique	»	— de magnésie	0,0260
Silice	0,0120	— de protoxyde de fer	0,0040
Protoxyde de fer	0,0018	— de protox. de mang.	0,0207
— de manganèse	0,0093	Chlorure de sodium	0,0340
Chaux	0,0600	— de potassium	0,0030
Magnésie	0,0080	Matières organiques	0,0020
Potasse	0,0019	Total	0,2807
Soude	0,0180		
Matières organiques	0,0020		
Total	0,2860		
Extrait sec à 180°	0,194		

Analyse du 30 janvier 1890.

DÉPARTEMENT DU CALVADOS (Suite).

ARRONDISS. DE FALAISE. — CANT. DE BRETTEVILLE-SUR-LAIZE (Suite).

Commune de Boulon. — Eau minérale de Cinglais. — Source Yvette (nouveau captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0250
Acide carbon. des bicarbonates	0,2834
Acide chlorhydrique	0,0250
Acide sulfurique	»
Silice	0,0120
Protoxyde de fer	0,0250
— de manganèse	0,0366
Chaux	0,0043
Magnésie	0,0090
Potasse	0,0023
Soude	0,0491
Matières organiques	0,0020
Total	0,5637
Extrait sec à 180°	0,390

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,0250
Silice	0,0120
Bicarbonate de chaux	0,2434
— de magnésie	0,0288
— de protoxyde de fer	0,0551
— de protox. de mang.	0,0951
— de potasse	0,0044
— de soude	0,0418
Chlorure de sodium	0,0411
Matières organiques	0,0020
Total	0,5490

Analyse du 31 mars 1894.

DÉPARTEMENT DU CANTAL.

ARRONDISSEMENT D'AURILLAC. — CANTON DE MONTSALVY.

Commune de Teissières-les-Boulies. — Source de Bioude (M. Jean Falières).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,9042
Acide carbon. des bicarbonates	0,7988
Acide chlorhydrique	0,0015
Acide sulfurique	traces
Silice	0,0250
Protoxyde de fer	0,0088
Chaux	0,1008
Magnésie	0,0900
Lithine	traces
Potasse	0,0400
Soude	0,2795
Total	2,2486
Extrait sec à 180°	0,9400

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,9042
Silice	0,0250
Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0195
— de chaux	0,2584
— de magnésie	0,2880
— de potasse	0,0772
— de lithine	traces
— de soude	0,6735
Sulfate de soude	traces
Chlorure de sodium	0,0025
Total	2,2483

Analyse du 8 août 1894.

DÉPARTEMENT DU CANTAL (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MAURIAC. — CANTON DE SAIGNES.

Commune d'Ydes (M. Chassan).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES St-Jean	SOURCES St-Martin
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,2650	0,4420
Acide carbonique des bicarbonates	2,2260	1,1180
Acide chlorhydrique	5,1100	2,3000
Acide sulfurique	4,2330	2,1830
Acide arsénique	0,0010	0,0008
Silice	0,0500	0,0380
Protoxyde de fer	0,0023	0,0023
Chaux	0,5920	0,1210
Magnésie	0,4480	0,2700
Potasse	0,6500	0,2690
Soude	7,4060	3,0990
Lithine	traces sensibles	
Total	20,9833	10,4431
Extrait sec à 180°	18,340	8,858

COMPOSITION CALCULÉE.

Acide carbonique libre	0,2650	0,4420
Silice	0,0500	0,0380
Bicarbonate de chaux	1,3220	0,3120
— de magnésie	1,4350	0,8640
— de protoxyde de fer	0,0051	0,0051
— de soude	0,5210	0,5650
Sulfate de soude	7,3120	3,8740
Arséniate de soude	0,0018	0,0013
Chlorure de sodium	7,3830	3,3510
— de potassium	1,0300	0,4270
— de lithium	traces sensibles	
Total	19,7249	9,8794

Analyses du 19 avril 1889.

DÉPARTEMENT DU CANTAL (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MAURIAC. — CANTON DE SAIGNES (Suite).

Commune d'Ydes (M. Chassan). — Sels provenant d'évaporation.

L'analyse a donné, pour 100 parties de sels :

	gr.	
Sulfate de soude	45,531	partie soluble dans l'eau.
Chlorure de sodium	39,109	
— de potassium	0,168	
— de lithium	traces très sensibles	
Eau expulsée au rouge sombre	5,900	partie insoluble dans l'eau.
Silice	0,260	
Alumine, traces de fer et phosphate de chaux	0,260	
Carbonate de chaux	1,640	
— de magnésie	5,830	
Acide arsénique	traces très faibles	
Corps non dosés et pertes	1,302	
Total	100,000	

Analyse du 23 juin 1892.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-FLOUR. — CANTON DE RUINES.

Commune de Faverolles. — Eau minérale de Montchauson. — Source Saint-Jean.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	gr.
Acide carbonique libre	0,3040
Acide carbon. des bicarbonates	0,8609
Acide chlorhydrique	0,1521
Acide sulfurique	0,0780
Silice	0,0620
Protoxyde de fer	0,0012
Chaux	0,0784
Magnésie	0,0632
Potasse	0,0990
Lithine	tr. faibles
Soude	0,5485
Matières organiques	0,0022
Total	2,2498
Extrait sec à 180°	1,390

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,3040
Silice	0,0620
Bicarbonate de chaux	0,2016
— de magnésie	0,2022
— de protoxyde de fer	0,0027
— de soude	1,0174
Sulfate de soude	0,1382
Chlorure de sodium	0,1250
— de potassium	0,1521
— de lithium	traces
Matières organiques	0,0022
Total	2,2074

Analyse du 18 août 1887.

DÉPARTEMENT DE LA CORSE.

ARRONDISSEMENT DE CORTE. — CANTON DE PIEDICROCE.

Vallée d'Orezza. — Commune de Rappaggio. — Fontana Pastare (M. Joubert).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	2,0460
Acide carbon. des bicarbonates	0,4534
Acide chlorhydrique	0,0131
Acide sulfurique	0,0014
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0030
Chaux	0,2703
Magnésie	0,0091
Lithine	tr. très faibles
Potasse	0,0035
Soude	0,0181
Matières organiques	traces
Total	2,8329
Extrait à 180°	0,560

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	2,0460
Silice	0,0150
Bicarbonate de fer	0,0066
— de chaux	0,6924
— de magnésie	0,0200
— de potasse	0,0067
— de soude	0,0122
— de lithine	tr. à peine sens.
Sulfate de chaux	0,0024
Chlorure de sodium	0,0212
Matières organiques	traces faibles
Total	2,8225

Analyse du 5 octobre 1891.

ARRONDISSEMENT DE CORTE. — CANTON DE PIEDICROCE (Suite).

Vallée d'Orezza. — Commune de Stazzona. — Source Raffalli (nouveau captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,9721
Acide carbon. des bicarbonates	0,5524
Acide chlorhydrique	0,0159
Acide sulfurique	0,0096
Silice	0,0105
Protoxyde de fer	0,0160
Chaux	0,3040
Magnésie	0,0299
Potasse	0,0031
Soude	0,0126
Matières organiques	traces
Total	1,9261
Extrait sec à 180°	0,558

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,9721
Silice	0,0105
Bicarbonate de chaux	0,7645
— de magnésie	0,0956
— de protoxyde de fer	0,0355
Sulfate de chaux	0,0163
Chlorure de potassium	0,0049
— de sodium	0,0237
Matières organiques	traces
Total	1,9311

Analyse du 18 mai 1894.

DÉPARTEMENT DE LA CORSE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CORTE. — CANTON DE VEZZANI.

Commune de Casevecchie.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES DE PUZZICHELLO		
	n° 1	n° 2	n° 3
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,398	0,344	0,332
Acide sulfhydrique	0,046	0,029	0,011
Acide chlorhydrique	0,061	0,047	0,073
Acide sulfurique	0,144	0,071	0,271
Silice	0,043	0,031	0,044
Protoxyde de fer	traces	traces	traces
Chaux	0,221	0,171	0,282
Magnésie	0,078	0,053	0,072
Potasse	traces	traces	traces
Soude	0,089	0,068	0,082
Matières organiques	»	»	»
Total.	1,080	0,814	0,167
Extrait sec à 180°.	0,844	0,612	0,994
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide sulfhydrique libre	0,046	0,0290	0,0110
Acide silicique	0,043	0,0310	0,0440
Bicarbonate de chaux	0,376	0,3740	0,2840
— de magnésie	0,246	0,1693	0,2300
Sulfate de chaux	0,184	0,0600	0,4170
— de soude	0,082	0,0639	0,0460
Sulfure de sodium	traces	traces	traces
Chlorure de potassium	traces	traces	traces
— de sodium	0,098	0,0752	0,1170
Total.	1,075	0,8024	1,1490

Analyses du 14 octobre 1892.

DÉPARTEMENT DE LA COTE-D'OR.

ARRONDISSEMENT DE BEAUNE. — CANTON DE NOLAY.

Commune de Santenay.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	traces
Acide carbon. des bicarbonates	0,3080
Acide chlorhydrique	3,6878
Acide sulfurique	1,6610
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,4980
Magnésie	0,0482
Lithine	0,0391
Potasse	0,1157
Soude	3,8540
Matières organiques	traces
Total.	10,2268
Extrait sec à 180°.	9,250

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	traces
Silice	0,0150
Bicarbonate de chaux	0,3300
— de magnésie	0,1540
— de protoxyde de fer.	traces
Sulfate de chaux	0,8960
— de soude	2,0120
Chlorure de sodium	5,6383
— de potassium	0,1834
— de lithium	0,1110
Matières organiques	traces
Total.	9,3397

Analyse du 9 mars 1889.

ARRONDISSEMENT DE BEAUNE. — CANTON DE NOLAY (Suite).

Commune de Santenay. — Source Lithium (nouveau captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0290
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2120
Acide chlorhydrique	3,6100
Acide sulfurique	1,8283
Silice	0,0165
Protoxyde de fer	0,0049
Chaux	0,5920
Magnésie	0,0418
Lithine	0,0309
Potasse	0,1109
Soude	3,8112
Matières organiques	traces
Total.	10,2875
Extrait sec à 180°.	8,952

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	0,0290
Silice	0,0165
Bicarbonate de protoxyde de fer.	0,0111
— de chaux	0,3371
Sulfate de chaux	1,1194
— de magnésie	0,1254
— de soude	1,9291
Chlorure de sodium	5,5942
— de potassium	0,1755
— de lithium	0,0873
Matières organiques	traces
Total.	9,4246

Analyse du 14 avril 1894.

DÉPARTEMENT DE LA COTE-D'OR (Suite).

ARRONDISSEMENT DE BEAUNE. — CANTON D'ARNAY-LE-DUC.

Commune de Magnien. — Lieu dit : *Fontaine-Salée*, du hameau de Maizières.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2086
Acide chlorhydrique	2,1620
Acide sulfurique	0,0312
Silice	0,0260
Protoxyde de fer	0,0056
Chaux	0,3290
Magnésie	0,0208
Lithine	0,0240
Potasse	0,1605
Soude	1,4680
Matières organiques	traces
Total	4,4357
Extrait sec à 180°	3,644

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,0260
Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0144
— de chaux	0,3268
Sulfate de chaux	0,0218
Chlorure de calcium	0,3565
— de magnésium	0,0494
— de potassium	0,2540
— de lithium	0,0690
— de sodium	2,7710
Matières organiques	traces
Total	3,8889

Analyse du 17 juillet 1888.

ARRONDISSEMENT DE SEMUR. — CANTON DE FLAVIGNY.

Commune de Pouillenay. — Lieu dit : *Champ-Salin.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4173
Acide chlorhydrique	3,7470
Acide sulfurique	0,0137
Silice	0,0200
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,2464
Magnésie	0,0660
Lithine	tr. faibles
Potasse	0,0026
Soude	1,8918
Matières organiques	0,0050
Total	6,4098
Extrait sec à 180°	5,660

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,0200
Bicarbonate de protoxyde de fer	tr. faib.
— de magnésie	0,2112
— de chaux	0,6089
Sulfate de chaux	0,0233
Chlorure de potassium	0,0041
— de sodium	4,9710
— de lithium	tr. faibles
Matières organiques	0,0050
Total	5,8435

Analyse du 28 octobre 1887.

DÉPARTEMENT DE LA CREUSE.

ARRONDISSEMENT D'AUBUSSON. — CANTON D'ÉVAUX.

Commune d'Évaux-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	BASSIN OVALE	SOURCE DES-GLANDES
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,2882	0,2360
Acide chlorhydrique	0,1276	0,1357
Acide sulfurique	0,4858	0,4801
Silice	0,1190	0,1165
Protoxyde de fer	traces	traces
Chaux	0,0725	0,0660
Magnésie	0,0034	0,0020
Potasse	0,0106	0,0081
Soude	0,5984	0,5615
Matières organiques	0,0041	0,0005
Lithine	traces	traces
Total	1,7096	1,6064
Extrait sec à 180°	1,516	1,520
COMPOSITION CALCULÉE.		
Bicarbonate de chaux	0,1864	0,1697
— de magnésie	0,0108	0,0064
— de protoxyde de fer	traces	traces
— de soude	0,2844	0,2051
Sulfate de soude	0,8613	0,8520
Chlorure de sodium	0,2081	0,2098
— de potassium	0,0167	0,0128
— de lithium	traces	traces
Silice	0,1190	0,1165
Matières organiques	0,0041	0,0005
Total	1,6908	1,5728

Analyse du 30 mai 1894.

DÉPARTEMENT DE LA DRÔME.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE NYONS.

Commune de Condorcet-les-Bains (M. César Courbis).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES du Rouet	SOURCES du Lancerant
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates.	0,1580	1,1790
Acide iodhydrique	»	0,0040
Acide chlorhydrique	0,0082	10,4770
Acide sulfurique	1,0520	1,5710
Acide arsénique.	»	tr. très faib.
Silice	0,0100	0,0130
Chaux	0,7640	0,2200
Magnésie.	0,0482	0,3940
Lithine.	tr. très faib.	0,0015
Potasse.	0,0032	0,6180
Soude.	0,0127	9,6940
Matières organiques	tr. faibles	tr. faibles
Total.	2,0563	24,1715
Extrait sec à 180°.	2,010	20,825
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice.	0,0100	0,0130
Bicarbonate de soude	»	2,0096
— de chaux	0,2502	»
Sulfate de soude	0,0130	2,2310
— de chaux.	1,6320	0,5340
Chlorure de sodium	0,0100	14,8880
— de potassium.	0,0050	0,9780
— de lithium.	tr. très faib.	0,0047
— de magnésium	»	0,9230
Iodure de magnésium	»	0,0043
Acide arsénique.	»	traces faib.
Matières organiques	tr. faibles	traces
Total.	2,0582	21,5856

Analyses du 31 mai 1890.

DÉPARTEMENT DE LA DRÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE NYONS (Suite).

Commune de Condorcet-les-Bains. — Eau saline (M. Dupont).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carb. des bicarbonates.	0,0186
Acide iodhydrique	0,0064
Acide chlorhydrique	13,5050
Acide sulfurique	2,2780
Silice	0,0260
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,9410
Magnésie.	0,3410
Lithine.	tr. sensibles
Potasse.	0,3850
Soude.	11,4900
Matières organiques	traces
Total	29,1584
Extrait sec à 180°	25,950

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,026
Bicarbonate de chaux	0,304
Sulfate de chaux.	1,998
— de soude.	1,957
Chlorure de sodium.	20,110
— de potassium	0,611
— de lithium.	tr. sensibles
— de magnésium.	0,802
Iodure de magnésium.	0,007
Matières organiques.	traces
Total.	25,915

Analyse du 1er février 1892.

DÉPARTEMENT DE LA DRÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE VALENCE. — CANTON DE CHABEUIL.

Commune de Châteaudouble (M. Béranger).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	N° 1	N° 2	N° 3
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,1532	0,1483	0,7618
Acide carbonique des bicarbonates	0,2718	0,2778	0,8984
Acide chlorhydrique	0,0076	0,0071	0,0178
Acide sulfurique	0,0041	0,0058	0,0403
Silice	0,0230	0,0260	0,0270
Protoxyde de fer	0,0081	0,0054	0,0036
Chaux	0,1662	0,1720	0,5645
Magnésie	0,0025	0,0033	0,0152
Potasse	traces	traces	0,0058
Soude	0,0065	0,0060	0,0113
Matières organiques	0,0032	0,0030	0,0028
Total.	0,6462	0,6547	2,3422
Extrait sec à 180°	0,348	0,363	1,125

COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	0,1532	0,1483	0,7618
Silice	0,0230	0,0260	0,0370
Bicarbonate de chaux	0,4200	0,4320	1,4033
— de magnésie	0,0079	0,0105	0,0486
— de protoxyde de fer	0,0178	0,0119	0,0080
Sulfate de chaux	0,0070	0,0098	0,0408
Chlorure de potassium	traces	traces	0,0092
— de sodium	0,0122	0,0114	0,0213
Matières organiques	0,0032	0,0030	0,0028
Total.	0,6443	0,6529	2,3378

Le dépôt ferrugineux laissé par les eaux contient, après dessiccation à 100° : Peroxyde de fer . . . . 48 p. 100 ; Acide arsénique . . . . traces

Analyses du 6 mai 1885.

DÉPARTEMENT DU GARD.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS. — CANTON DE SAINT-AMBROIX.

Commune d'Allègre. — Eau sulfureuse des Fumades, au Mas-Chabert.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,5484
Acide chlorhydrique.	0,0030
Acide sulfurique.	0,6551
Acide sulfhydrique.	0,0087
Silice	0,0100
Chaux.	0,5040
Magnésie	0,0960
Potasse	traces
Soude	0,2053
Total.	2,0305
Extrait sec à 180°	1,770

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,0100
Bicarbonate de chaux.	0,8982
Sulfate de chaux.	0,3757
— de magnésie.	0,2880
— de soude.	0,4292
Chlorure de sodium.	0,0046
— de potassium	traces
Sulfure de sodium.	0,0200
Matières organiques.	traces
Total.	2,0257

Analyse du 2 avril 1894.

DÉPARTEMENT DU GARD (Suite).

ARRONDISSEMENT DU VIGAN. — CANTON DE SAUVE.

Commune de Sauve. — Eau sulfureuse de Fonsanges-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1960
Acide chlorhydrique.	0,0110
Acide sulfurique.	0,0310
Acide sulfhydrique.	0,0050
Silice	0,0130
Chaux.	0,0730
Magnésie	0,0370
Potasse	traces
Soude	0,0340
Matières organiques.	0,0080
Total.	0,4160
Extrait sec à 180°	0,298

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,0130
Bicarbonate de chaux.	0,1870
— de magnésie.	0,1190
Sulfate de soude.	0,0550
Chlorure de potassium	tr. faibles
— de sodium.	0,0190
Sulfure de sodium.	0,0110
Matières organiques.	0,0080
Total.	0,4120

Analyre du 26 uillet 1889.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-GARONNE.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-GAUDENS.

Commune de Salies-du-Salat.

Sels d'évaporation des eaux salées et sulfatées calciques de Salies-du-Salat.

On a dosé pour 100 :	gr.
Résidu insoluble dans l'eau	1,120
Sulfate de chaux	3,540
— de soude	3,372
Chlorure de sodium	78,500
— de potassium	1,452
— de magnésium	0,824
Eau chassée à 180°	10,400
Total	99,208

Analyse du 26 novembre 1886.

DÉPARTEMENT DU GERS.

ARRONDISSEMENT DE CONDOM. — CANTON DE CAZAUBON.

Commune de Cazaubon. — Barbottan-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0580
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1130
Acide chlorhydrique	0,0120
Acide sulfurique	0,0140
Silice	0,0190
Protoxyde de fer	0,0003
— de manganèse.	tr. très faib.
Chaux	0,0620
Magnésie	0,0090
Potasse	traces
Soude	0,0210
Matières organiques	traces
Total	0,3083
Extrait sec à 180°	0,206

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,0580
Silice	0,0190
Bicarbonate de chaux	0,1580
— de magnésie	0,0300
— de protoxyde de fer.	0,0007
— de manganèse.	tr. faibles
Sulfate de soude	0,0250
Chlorure de sodium	0,0190
— de potassium	traces
Matières organiques	traces
Total	0,3097

Analyse du 7 juin 1889.

DÉPARTEMENT DU GERS (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CONDOM. — CANTON D'EAUZE.

Commune de Ramouzens.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Saint-Pierre	SOURCES des Dames
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,3381	0,3234
Acide chlorhydrique	0,0357	0,0113
Acide sulfurique	0,0844	0,0346
Silice	0,0250	0,0150
Protoxyde de fer	tr. faibles	tr. faibles
Chaux	0,2271	0,2044
Magnésie	0,0336	0,0190
Potasse	traces	traces
Soude	0,0294	0,0098
Matières organiques	0,0013	tr. faibles
Total	0,7746	0,6175
Extrait sec à 180°	0,640	0,460
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0250	0,0150
Bicarbonate de chaux	0,4320	0,4608
— de magnésie	0,1055	0,0608
— de protoxyde de fer	traces	traces
Sulfate de chaux	0,1435	0,0588
Chlorure de potassium	traces	traces
— de sodium	0,0546	0,0178
Matières organiques	0,0013	tr. faibles
Total	0,7619	0,6132

Analyses du 17 août 1888.

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT.

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. — CANTON DE SAINT-GERVAIS.

Commune de Lamalou.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	LAMALOU-LE-HAUT			
	Romaine	Petit-Vichy	De la Mine	Chaude
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,63594	0,76333	0,14999	0,09200
Acide carbon. des bicarbonates.	1,03406	0,77267	0,55601	0,61559
Acide chlorhydrique	0,01470	0,01213	0,01089	0,01750
Acide sulfurique	0,01660	0,01990	0,07310	0,02750
Silice	0,05350	0,04750	0,03850	0,03700
Protoyxde de fer	0,00095	0,00063	0,00068	0,00145
Chaux	0,27330	0,25190	0,17120	0,19680
Magnésie	0,08648	0,04545	0,05800	0,05530
Lithine	tr. très not.	tr. notables	tr. très not.	traces
Potasse	0,09320	0,06690	0,10300	0,04532
Soude	0,24945	0,16500	0,11180	0,13353
Matières organiques	traces	traces	traces	traces
Total	2,45818	2,14541	1,27547	1,22199
Extrait sec à 180°	1,336	0,945	0,817	0,760
COMPOSITION CALCULÉE.				
Acide carbonique libre	0,63594	0,76333	0,14999	0,09200
Silice	0,05350	0,04750	0,03850	0,03700
Bicarbonate de chaux	0,70316	0,64810	0,44040	0,50622
— de magnésie	0,27518	0,14457	0,18456	0,17602
— de protoxyde de fer	0,00227	0,00138	0,00141	0,00200
— de potasse	0,18032	0,12950	0,19920	0,08768
— de lithine	tr. très not.	tr. notables	tr. très not.	traces
— de soude	0,55613	0,36488	0,10798	0,22265
Sulfate de soude	0,02445	0,02045	0,13028	0,04881
Chlorure de sodium	0,02367	0,01944	0,01940	0,02804
Matières organiques	traces	traces	traces	traces
Total	2,45162	2,13915	1,27172	1,20042

Analyses du 21 décembre 1887.

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT (Suite).

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. — CANTON DE SAINT-GERVAIS (Suite).

Commune de Lamalou.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	LAMALOU-LE-CENTRE		
	Marie	Bourges	Nouvelle
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,57540	0,30238	0,55188
Acide carbonique des bicarbonates	0,54660	0,45762	0,41120
Acide chlorhydrique	0,01172	0,01182	0,01110
Acide sulfurique	0,02018	0,01990	0,03330
Silice	0,02650	0,02800	0,02050
Protoxyde de fer	0,00062	0,00136	0,00074
Chaux	0,17100	0,14400	0,12950
Magnésie	0,05463	0,04697	0,05170
Lithine	tr. notables	traces	traces
Potasse	0,06102	0,02780	0,01560
Soude	0,09280	0,09499	0,09082
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	1,56047	1,13484	1,31634
Extrait sec à 180°	0,718	0,607	0,570
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	0,57540	0,30238	0,55188
Silice	0,02650	0,02800	0,02050
Bicarbonate de chaux	0,43996	0,37048	0,33318
— de magnésie	0,17801	0,15147	0,16450
— de protoxyde de fer	0,00138	0,00306	0,00174
— de potasse	0,11806	0,05378	0,03018
— de lithine	tr. très not.	traces	traces
— de soude	0,16276	0,16873	0,13494
Sulfate de soude	0,03581	0,03532	0,05911
Chlorure de sodium	0,01881	0,01900	0,01796
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	1,55669	1,13222	1,31399

Analyses du 21 décembre 1887.

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT.

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. — CANTON DE S^{T}-GERVAIS-S^{TE}-MARIE.

Commune de S^{t}-Gervais-S^{te}-Marie. — Source Cours.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,8600	Acide carbonique libre	0,8600
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4158	Silice	0,0150
Acide chlorhydrique	0,0102	Bicarbonate de chaux	0,5184
Acide sulfurique	0,0160	— de magnésie	0,1440
Silice	0,0150	— de protox. de fer.	tr. faibl.
Protoxyde de fer	traces faibles	Sulfate de chaux	0,0272
Chaux	0,2128	Chlorure de potassium	traces faibles
Magnésie	0,0450	— de sodium	0,0168
Potasse	traces faibles	Matières organiques	0,0009
Soude	0,0089	Total	1,5823
Matières organiques	0,0009		
Total	1,5846		
Extrait sec à 180°	0,512	Analyse du 10 août 1887.	

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. — CANTON DE SAINT-GERVAIS.

Commune de Rosis. — Eau minérale de Rosis.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,6640	Acide carbonique libre	0,6640
Acide carbon. des bicarbonates.	0,5578	Silice	0,0580
Acide chlorhydrique	0,0087	Bicarbonate de chaux	0,1820
Acide sulfurique	traces	— de magnésie	0,1920
Silice	0,0580	— de protoxyde de fer.	0,0061
Protoxyde de fer	0,0027	— de potasse	0,0125
Chaux	0,1880	— de lithine	traces
Magnésie	0,0600	— de soude	0,2080
Lithine	traces	Sulfate de soude	traces
Potasse	0,0065	Chlorure de sodium	0,0140
Soude	0,0937	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces	Total	1,6366
Total	1,6394		
Extrait sec à 180°	0,684	Analyse du 15 mars 1889.	

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT (Suite).

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. — CANTON DE MONTAGNAC.

Commune de Montagnac (M. Signoret).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1962	Bicarbonate de chaux	0,3210
Acide chlorhydrique	0,1016	Sulfate de chaux	0,7849
Acide sulfurique	1,3240	— de magnésie	0,9720
Acide sulfhydrique	0,0080	— de soude	0,3799
Silice	0,0250	Sulfure de sodium	0,0159
Peroxyde de fer (en suspension).	0,0150	Chlorure de sodium	0,1624
Chaux	0,4480	— de potassium	0,0007
Magnésie	0,3240	— de lithium	traces faibles
Lithine	traces faibles	Peroxyde de fer (en suspension).	0,0150
Potasse	0,0005	Silice	0,0250
Soude	0,2629	Matières organiques	0,0028
Matières organiques	0,0028	Total	2,6796
Total	2,7080		
Extrait sec à 180°		Analyse du 24 décembre 1887.	

DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE.

ARRONDISSEMENT DE GRENOBLE. — CANTON DE LA MURE.

Commune de la Motte-les-Bains. — Source du Puits.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,3100	Silice	0,0100
Acide chlorhydrique	1,9303	Bicarbonate de fer	traces
Acide sulfurique	1,2314	— de chaux	0,5072
Silice	0,0100	Sulfate de chaux	0,8155
Protoxyde de fer	traces	— de magnésie	0,3198
Chaux	0,5330	— de soude	0,9547
Magnésie	0,1066	Chlorure de sodium	3,0928
Lithine	traces faibles	— de potassium	0,0078
Potasse	0,0050	— de lithium	traces faibles
Soude	2,0585	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces	Total	5,7078
Total	6,1848		
Extrait sec à 180°	5,560	Analyse du 5 mai 1894.	

DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE SAINT-MARCELLIN. — CANTON DE PONT-EN-ROYANS.

Commune de Chorance. — Source des Chartreux.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	traces
Acide sulfhydrique	0,0222
Acide chlorhydrique	0,1561
Acide sulfurique	0,1030
Silice	0,0240
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,0280
Magnésie	0,0874
Potasse	0,0122
Soude	0,0943
Matières organiques	traces
Total	0,5272
Extrait sec à 180°	0,453

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique	traces
Sulfure de sodium	0,0500
Sulfate de chaux	0,0680
— de magnésie	0,0945
Chlorure de magnésium	0,1330
— de potassium	0,0193
— de sodium	0,1033
Silice	0,0240
Peroxyde de fer	traces
Matières organiques	traces
Total	0,4921

Analyse du 31 mars 1891.

DÉPARTEMENT DU JURA.

ARRONDISSEMENT DE DÔLE. — CANTON DE ROCHEFORT.

Source du Mont-Ferri.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4381
Acide chlorhydrique	0,6428
Acide sulfurique	0,3387
Silice	0,0110
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,3673
Magnésie	0,1090
Lithine	traces
Potasse	traces
Soude	0,5459
Matières organiques	traces
Total	2,4428
Extrait sec à 180°	2,200

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0110
Bicarbonate de protoxyde de fer	traces
— de chaux	0,7170
Sulfate de chaux	0,2159
— de magnésie	0,3270
Chlorure de lithium	traces
— de potassium	traces
— de sodium	1,0300
Matières organiques	traces
Total	2,3009

Analyse du 12 mai 1888.

DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

ARRONDISSEMENT DE MONTBRISON. — CANTON DE SAINT-GALMIER.

Commune de Meylieu-Montrond. — Source dite : *Montrond-Geyser*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,0660
Acide carbon. des bicarbonates.	2,1184
Acide chlorhydrique	0,0407
Acide sulfurique	traces très faibles
Silice	0,0180
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,0440
Magnésie	0,0180
Potasse	0,0026
Soude	1,5149
Matières organiques	traces
Total	4,8226
Extrait sec à 180°	2,700

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,0660
Silice	0,0180
Bicarbonate de chaux	0,1031
— de magnésie	0,0576
— de fer	traces
— de potasse	0,0054
— de soude	3,3044
Chlorure de sodium	0,0644
Sulfate de chaux	traces
Matières organiques	traces
Total	4,8189

Analyse du 30 août 1888.

ARRONDISS. DE MONTBRISON. — CANTON DE ST-GEORGES-EN-COUZAN.

Commune de Sail-sous-Couzan. — Source Brault.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

	gr.
Acide carbonique libre	2,9500
Acide carbon. des bicarbonates.	1,3594
Acide chlorhydrique	0,0526
Acide sulfurique	0,0319
Silice	0,0300
Protoxyde de fer	0,0018
Chaux	0,1060
Magnésie	0,0820
Lithine	traces sensibles
Potasse	0,1143
Soude	0,7059
Matières organiques	traces faibles
Total	5,4339
Extrait sec à 180°	1,775

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	2,9500
Silice	0,0300
Bicarbonate de chaux	0,2720
— de magnésie	0,2628
— de fer	0,0040
— de potasse	0,2213
— de lithine	traces sensibles
— de soude	1,5399
Sulfate de soude	0,0566
Chlorure de sodium	0,0844
Matières organiques	traces faibles
Total	5,4210

Analyse du 5 août 1893.

DÉPARTEMENT DE LA LOIRE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MONTBRISON. — CANTON DE SAINT-RAMBERT.

Commune de Saint-Romain-le-Puy. — Source Parot.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre (aussitôt après débouchage)	2,4810
Acide carbon. des bicarbonates.	2,6080
Acide chlorhydrique	0,1118
Acide sulfurique	0,0072
Acide arsénique	traces faibles
Silice	0,0890
Protoxyde de fer	0,0068
Chaux	0,2420
Magnésie	0,1200
Lithine	traces très sensibles
Potasse	0,1220
Soude	1,3975
Matières organiques	traces
Total	7,1853
Extrait sec à 180°	3,389

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	2,4810
Silice	0,0890
Bicarbonate de chaux	0,6220
— de magnésie	0,3840
— de fer	0,0150
— de soude	3,1410
— de potasse	0,2370
— de lithine.	tr. très sensibl.
Sulfate de soude	0,0130
Chlorure de sodium	0,1790
Matières organiques	traces
Total	7,1610

Analyse du 27 septembre 1892.

ARRONDISSEMENT DE MONTBRISON. — CANTON DE SAINT-RAMBERT.

Commune de Saint-Romain-le-Puy. — Puits Saint-Georges.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
	gr.
Acide carbonique libre	(non dosé)
Acide carbon. des bicarbonates.	2,6330
Acide chlorhydrique	0,1010
Acide sulfurique	0,0173
Silice	0,0100
Protoxyde de fer	0,0040
Chaux	0,1680
Magnésie	0,1580
Lithine	traces
Potasse	0,2507
Soude	1,3528
Matières organiques	traces
Total	4,6948
Extrait sec à 180°	3,330

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	(non dosé)
Silice	0,0100
Bicarbonate de chaux	0,4320
— de magnésie	0,5064
— de protoxyde de fer.	0,0089
— de potasse	0,4849
— de lithine	traces
— de soude	3,0275
Sulfate de soude	0,0327
Chlorure de sodium	0,1650
Matières organiques	traces
Total	4,6674

Analyse du 14 mars 1894.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE.

ARRONDISSEMENT DE BRIOUDE. — CANTON D'AUZON.

Commune d'Azerat. — Sources de Clémensat-les-Eaux.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	BÉNÉDICTINS	SAINT-JEAN	SAINT-ROBERT
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,0710	0,3580	0,2500
Acide carbonique des bicarbonates	0,6890	0,0180	1,0560
Acide chlorhydrique	0,0130	0,0150	0,0150
Acide sulfurique	0,0320	0,0480	0,0480
Silice	0,0420	0,0530	0,0620
Protoxyde de fer	0,0012	0,0018	0,0017
Chaux	0,0930	0,2270	0,2030
Magnésie	0,0500	0,0810	0,0740
Lithine	traces sens.	traces sens.	tr. tr. sens.
Potasse	0,0490	0,0630	0,0650
Soude	0,3090	0,3820	0,4140
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	2,3492	2,2468	2,1887
Extrait sec à 180°	0,981	1,395	1,392
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	1,0710	0,3580	0,2500
Silice	0,0420	0,0530	0,0620
Bicarbonate de chaux	0,2380	0,5810	0,5190
— de magnésie	0,1600	0,2570	0,2380
— de protoxyde de fer	0,0028	0,0043	0,0038
— de lithine	traces sens.	traces sens.	tr. tr. sens.
— de potasse	0,0930	0,1220	0,1260
— de soude	0,6620	0,8020	0,8800
Sulfate de soude	0,0560	0,0850	0,0850
Chlorure de sodium	0,0210	0,0240	0,0240
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	2,3478	2,2863	2,1878

Analyses du 31 janvier 1888.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE BRIOUDE.

Commune de Saint-Géron. — Source Romaine.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,7120
Acide carbon. des bicarbonates.	0,9160
Acide chlorhydrique	0,0590
Acide sulfurique	0,0190
Silice	0,0170
Protoxyde de fer	0,0013
Chaux	0,2680
Magnésie	0,0450
Lithine	traces
Potasse	0,0500
Soude	0,3150
Matières organiques	traces
Total	3,4353
Extrait sec à 180°	1,285

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,7120
Silice	0,0170
Bicarbonate de chaux	0,6860
— de magnésie	0,1430
— de protoxyde de fer	0,0098
— de potasse	0,0960
— de lithine	traces
— de soude	0,6040
Sulfate de soude	0,0190
Chlorure de sodium	0,0940
Matières organiques	traces
Total	3,4108

Analyse du 31 janvier 1888.

ARRONDISSEMENT DE BRIOUDE. — CANTON DE LANGEAC.

Commune de Prades. — Lieu dit : *La Queyre.* — Source dite : *La Merveilleuse.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,8040
Acide carbon. des bicarbonates.	0,6963
Acide chlorhydrique	0,0168
Acide sulfurique	0,0078
Silice	0,0470
Protoxyde de fer	0,0042
Chaux	0,0917
Magnésie	0,0137
Lithine	traces
Potasse	0,0191
Soude	0,3244
Matières organiques	»
Total	3,0550
Extrait sec à 180°	0,863

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,8040
Silice	0,0470
Bicarbonate de chaux	0,2360
— de magnésie	0,1400
— de fer	0,0092
— de lithine	traces
— de potasse	0,0375
— de soude	0,7360
Sulfate de soude	0,0138
Chlorure de sodium	0,0269
Total	3,0404

Analyse du 3 mai 1892.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE BRIOUDE. — CANTON DE PINOLS.

Commune de Ferrussac (M. Lacroix).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	traces
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0168
Acide chlorhydrique	0,0062
Acide sulfurique	0,0144
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0070
Chaux	0,0180
Magnésie	0,0060
Lithine, Potasse	traces à peine sensibles
Soude	0,0132
Matières organiques	0,0050
Total	0,1316
Extrait sec à 180°	0,115

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	traces
Silice	0,0150
Bicarbonate de chaux	0,0210
— de magnésie	0,0192
— de protoxyde de fer	0,0172
— de lithine, — de potasse	traces à peine sensibles
— de soude	0,0194
Sulfate de chaux	0,0238
Chlorure de sodium	0,0100
Matières organiques	0,0050
Total	0,1306

Analyse du 28 février 1889.

ARRONDISSEMENT DU PUY. — CANTON DE VORCY-SUR-ARZON.

Commune de Serville. — Source dite : *de Margeais.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,9138
Acide carbon. des bicarbonates.	1,9592
Acide chlorhydrique	0,2110
Acide sulfurique	0,0137
Silice	0,0770
Protoxyde de fer	0,0027
Chaux	0,1036
Magnésie	0,0648
Lithine	0,0014
Potasse	0,0501
Soude	1,3170
Matières organiques	0,0022
Total	4,7165
Extrait sec à 180°	2,770

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,9138
Silice	0,0770
Bicarbonate de chaux	0,2664
— de manganèse	0,2072
— de protoxyde de fer	0,0059
— de lithine	0,0054
— de potasse	0,0969
— de soude	2,7270
Sulfate de soude	0,0243
Chlorure de sodium	0,3383
Matières organiques	0,0022
Total	4,6644

Analyse du 26 juin 1885.

DÉPARTEMENT DE LA LOZÈRE.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE MARVÉJOLS.

Commune de Saint-Léger-de-Peyre (M. Daudé).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	traces	Acide carbonique libre	traces
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0336	Silice	0,0210
Acide chlorhydrique	0,0025	Bicarbonate de chaux	0,0256
Acide phosphorique	traces	— de magnésie	0,0262
Acide sulfurique	0,0604	— de protoxyde de fer.	0,0620
Acide azotique	0,0106	Azotate de soude	0,0168
Silice	0,0210	Sulfate de soude	0,0414
Protoxyde de fer	0,0250	Chlorure de sodium	0,0040
Chaux	0,0100	Matières organiques	0,0240
Magnésie	0,0082	Total	0,2210
Potasse	traces		
Soude	0,0261		
Matières organiques	0,0240		
Total	0,2214		
Extrait sec à 180°	0,208	Analyse du 15 septembre 1891.	

DÉPARTEMENT DE LA MANCHE.

ARRONDISSEMENT DE VALOGNE. — CANTON DE SAINTE-MÈRE-ÉGLISE.

Commune de Sainte-Marie-du-Mont. — Lieu dit : *La Maltournée.*

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,5483	Silice	0,0180
Acide chlorhydrique	0,0854	Bicarbonate de chaux	0,6991
Acide sulfurique	0,0173	— de magnésie	0,1702
Silice	0,0180	— de fer	traces
Protoxyde de fer	traces	— de potasse	0,0076
Chaux	0,2830	— de soude	traces
Magnésie	0,0532	Chlorure de sodium	0,1383
Potasse	0,0037	Matières organiques	0,0055
Soude	0,0733	Total	1,0387
Matières organiques	0,0055		
Total	1,0877		
Extrait sec à 180°	0,790	Analyse du 30 août 1888.	

DÉPARTEMENT DE LA MARNE.

ARRONDISSEMENT DE REIMS. — CANTON D'AY.

Commune de Germaine. — Source ferrugineuse de Bœuf.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2700	Silice	0,0140
Acide chlorhydrique	0,0081	Bicarbonate de chaux	0,3656
Acide sulfurique	0,0398	— de magnésie	0,0576
Silice	0,0140	— de protoxyde de fer.	0,0128
Protoxyde de fer	0,0058	Sulfate de chaux	0,0676
Chaux	0,1700	Chlorure de potassium	traces
Magnésie	0,0180	— de sodium	0,0130
Potasse	traces	Total	0,5306
Soude	0,0068		
Matières organiques	»		
Total	0,5325		
Extrait sec à 180°	0,392	Analyse du 21 octobre 1892.	

ARRONDISSEMENT DE REIMS. — CANTON D'AY (Suite).

Commune de Germaine. — Source des Haies.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4146	Silice	0,0200
Acide chlorhydrique	0,0331	Bicarbonate de protoxyde de fer.	0,0004
Acide sulfurique	0,0617	— de chaux	0,6393
Silice	0,0200	— de magnésie	0,0346
Protoxyde de fer	0,0002	Sulfate de soude	0,1094
Chaux	0,2487	Chlorure de sodium	0,0461
Magnésie	0,0108	— de potassium	0,0104
Potasse	0,0066	Matières organiques	tr. faibles
Soude	0,0719	Total	0,8602
Matières organiques	tr. faibles		
Total	0,8676		
Extrait sec à 180°	0,660	Analyse du 5 mai 1894.	

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-MARNE.

ARRONDISSEMENT DE LANGRES. — CANTON DE BOURBONNE-LES-BAINS.

Commune de Bourbonne-les-Bains.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Marie	Gustave
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,3508	0,2550
Acide carbonique des bicarbonates	0,1818	0,1807
Acide chlorhydrique	0,0012	0,0014
Acide sulfurique	1,2480	1,0400
Silice	0,0200	0,0200
Protoxyde de fer	0,0006	0,0006
Chaux	0,8758	0,7298
Magnésie	0,0812	0,0808
Potasse	traces	traces
Soude	0,0010	0,0012
Matières organiques	0,0015	0,0015
Total	2,7619	2,3140
Extrait sec à 180°	2,220	1,860
COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	0,3508	0,2550
Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0013	0,0013
— de magnésie	0,2596	0,2585
— de chaux	0,0050	0,0041
Sulfate de chaux	2,1146	1,7680
Chlorure de potassium	traces	traces
— de sodium	0,0019	0,0021
Silice	0,0200	0,0200
Matières organiques	0,0015	0,0015
Total	2,7547	2,3105

Analyses du 10 avril 1886.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-MARNE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CHAUMONT. — CANTON DE NOGENT-LE-ROI.

Commune d'Essey-les-Eaux. — Source Barbe.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4232
Acide chlorhydrique	0,0051
Acide sulfurique	0,4913
Silice	0,0200
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,3633
Magnésie	0,2200
Potasse	traces
Soude	0,0041
Matières organiques	0,0022
Lithine	tr. faibles
Total	1,5092
Extrait sec à 180°	1,280

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,0200
Bicarbonate de protoxyde de fer.	traces
— de chaux	0,6925
Sulfate de chaux	0,2538
— de magnésie	0,5124
Chlorure de lithium	tr. faibles
— de potassium	traces
— de sodium	0,0078
Matières organiques	0,0022
Total	1,4887

Analyse du 23 mars 1887.

DÉPARTEMENT DE LA NIÈVRE.

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE POUGUES-LES-EAUX.

Commune de Pougues-les-Eaux, lieu dit *le Ponteau*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,8700
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2520
Acide chlorhydrique	0,0707
Acide sulfurique	0,0576
Silice	0,0120
Chaux	0,5870
Magnésie	0,0728
Lithine	traces
Potasse	0,0200
Soude	0,2120
Matières organiques	tr. très faib.
Total	4,1541
Extrait sec à 180°	1,659

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	1,8700
Silice	0,0120
Bicarbonate de chaux	1,5077
— de magnésie	0,2328
— de lithine	traces.
— de potasse	0,0387
— de soude	0,2593
Sulfate de soude	0,1022
Chlorure de sodium	0,1133
Matières organiques	tr. très faib.
Total	4,1360

Analyse du 22 janvier 1890.

Les bouteilles contenaient un très faible dépôt calcaire avec des traces de peroxyde de fer hydraté.

DÉPARTEMENT DE LA NIÈVRE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE POUGUES-LES-EAUX (Suite).

Commune de Pougues-les-Eaux. — Source Alice.

ANALYSE ÉLEMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,4350
Acide carbon. des bicarbonates.	1,3280
Acide chlorhydrique	0,0700
Acide sulfurique	0,0776
Silice	0,0110
Protoxyde de fer	0,0045
Chaux	0,5390
Magnésie	0,0883
Lithine	tr. à peine sens.
Potasse	0,0359
Soude	0,2963
Matières organiques	tr. très faib.
Total	3,8856
Extrait sec à 180°	1,731

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,4350
Silice	0,0110
Bicarbonate de chaux	1,2170
— de magnésie	0,2820
— de lithine	tr. très faib.
— de soude	0,6208
— de fer	0,0095
Sulfate de chaux	0,0320
Chlorure de potassium	0,0568
— de sodium	0,0680
Matières organiques	tr. à peine sens.
Total	3,8711

Analyse du 7 septembre 1891.

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE POUGUES-LES-EAUX (Suite).

Commune de Pougues-les-Eaux. — Source du Prince-de-Conti.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,1840
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4600
Acide chlorhydrique	0,0190
Acide sulfurique	0,0364
Silice	0,0100
Protoxyde de fer	0,0420
Chaux	0,1694
Magnésie	0,0309
Lithine	traces
Potasse	0,0190
Soude	0,0910
Matières organiques	»
Total	1,0617
Résidu à 180°	0,750

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,1840
Silice	0,0100
Bicarbonate de chaux	0,4360
— de magnésie	0,0990
— de lithine	traces
— de soude	0,1310
— de fer	0,0930
Sulfate de soude	0,0646
Chlorure de sodium	0,0130
— de potassium	0,0300
Total	1,0606

Analyse du 18 février 1892.

DÉPARTEMENT DE LA NIÈVRE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE POUGUES-LES-EAUX (Suite).

Commune de Pougues-les-Eaux. — Grande source Serrus.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,9900
Acide carbon. des bicarbonates.	2,2694
Acide chlorhydrique	0,1160
Acide sulfurique	0,0978
Silice	0,0220
Protoxyde de fer	0,2738
Chaux	0,7180
Magnésie	0,1337
Lithine	traces
Potasse	0,0620
Soude	0,4890
Matières organiques	traces
Total	5,1717
Extrait sec à 180°	3,250

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,9900
Silice	0,0220
Bicarbonate de chaux	1,8460
— de magnésie	0,4280
— de lithine	traces
— de soude	0,8660
— de fer	0,6080
Sulfate de soude	0,1740
Chlorure de potassium	0,0980
— de sodium	0,1090
Matières organiques	traces
Total	5,1410

Analyse du 15 février 1892.

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE POUGUES-LES-EAUX (Suite).

Commune de Fourchambault (M. Dubois).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	2,2500
Acide carbon. des bicarbonates.	1,1940
Acide chlorhydrique	0,0910
Acide sulfurique	0,4360
Silice	0,0250
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,8350
Magnésie	0,1160
Lithine	traces
Potasse	0,0450
Soude	0,1190
Matières organiques	traces
Total	5,1110
Extrait sec à 180°	2,300
Dépôt ferrugineux dans les bouteilles	0,007

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	2,2500
Silice	0,0250
Bicarbonate de chaux	1,3620
— de magnésie	0,3780
— de lithine	traces
— de fer	traces
— de potasse	0,0870
— de soude	0,1000
Sulfate de chaux	0,7410
Chlorure de sodium	0,1460
Total	5,0890

Analyse du 12 août 1893.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CLERMONT-FERRAND.

Commune de Royat. — Source Eugénie.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,2708
Acide carbon. des bicarbonates.	1,7620
Acide chlorhydrique	1,0270
Acide sulfurique	0,0892
Acide arsénique	0,0013
Silice	0,1020
Protoxyde de fer	0,0108
Chaux	0,3931
Magnésie	0,2234
Lithine	0,0118
Potasse	0,1127
Soude	1,4056
Matières organiques	0,0012
Total	6,4109
Extrait sec à 180°	3,890

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,2708
Bicarbonate de chaux	1,0109
— de manganèse	0,7148
— de protoxyde de fer.	0,0240
— de lithine	0,0464
— de potasse	0,2179
— de soude	0,8519
Silicate de soude	0,3116
Sulfate de soude	0,1583
Arséniate de soude (anhydre)	0,0020
Chlorure de sodium	1,6465
Matières organiques	0,0012
Total	6,2583

Analyse du 24 juillet 1885.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CLERMONT-FERRAND (Suite).

Puits situé à Clermont-Ferrand, au lieu dit *Pont-de-Naud*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,8690
Acide carbon. des bicarbonates.	1,0080
Acide azotique	0,1040
Acide chlorhydrique	0,0550
Acide sulfurique	0,1230
Silice	0,0360
Protoxyde de manganèse	traces
Chaux	0,4520
Magnésie	0,0960
Lithine	0,0010
Potasse	0,0380
Soude	0,2370
Matières organiques	0,0200
Total	3,0390
Extrait sec à 180°	1,650

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,8690
Silice	0,0360
Bicarbonate de chaux	1,1620
— de magnésie	0,3090
— de lithine	0,0040
— de soude	0,1440
— de manganèse	traces
Azotate de potasse	0,0810
— de soude	0,0950
Sulfate de soude	0,2180
Chlorure de sodium	0,0880
Matières organiques	0,0200
Total	3,0260

Analyse du 28 septembre 1889.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CLERMONT-FERRAND.

Commune de Sayat. — Source d'Argnat.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1053
Acide chlorhydrique	0,0102
Acide sulfurique	0,0137
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0004
Chaux	0,0280
Magnésie	0,0180
Potasse	traces
Soude	0,0463
Matières organiques	traces faibles
Total	0,2369
Résidu à 180°	0,160

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Bicarbonate de chaux	0,0720
— de magnésie	0,0576
— de protoxyde de fer.	0,0009
— de potasse	traces
— de soude	0,0361
Sulfate de soude	0,0243
Chlorure de sodium	0,0164
Silice	0,0150
Total	0,2223

Analyse du 5 mai 1894.

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE ROCHEFORT.

Commune de la Bourboule. — Source de Mme Brugière.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,1600
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4096
Acide chlorhydrique	0,1689
Acide sulfurique	0,1085
Acide arsénique	0,0010
Silice	0,0100
Protoxyde de fer	0,0005
Chaux	0,0778
Magnésie	0,0188
Lithine	0,0016
Potasse	0,0180
Soude	0,3735
Matières organiques	0,0022
Total	1,3504
Résidu à 180°	0,924

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,1600
Silice	0,0100
Bicarbonate de chaux	0,2028
— de magnésie	0,0601
— de protoxyde de fer.	0,0011
— de lithine	0,0055
— de potasse	0,0347
— de soude	0,3500
Sulfate de soude	0,1926
Arséniate de soude	0,0014
Chlorure de sodium	0,2706
Matières organiques	0,0022
Total	1,2910

Analyse du 23 juin 1886.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE ROCHEFORT.

Commune de la Bourboule. — Source Clémence.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,9890
Acide carbon. des bicarbonates	1,3360
Acide chlorhydrique	1,7360
Acide sulfurique	0,1270
Silice	0,0670
Acide arsénique	0,0049
Protoxyde de fer	0,0240
Chaux	0,1100
Magnésie	0,1540
Lithine	traces faibles
Potasse	0,1548
Soude	1,6013
Matières organiques	»
Total	6,3040
Résidu à 180°	4,714

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	0,9890
Silicate de soude	0,2350
Arséniate de soude	0,0088
Bicarbonate de chaux	0,2820
— de magnésie	0,4928
— de lithine	traces
de protoxyde de fer	0,0520
— de soude	1,3610
Sulfate de soude	0,2254
Chlorure de potassium	0,2450
— de sodium	2,5650
Matières organiques	traces
Total	6,4560

Analyse du 15 septembre 1891.

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE ROCHEFORT.

Commune de la Bourboule. — Source Henry.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	2,1630
Acide carbon. des bicarbonates	1,1242
Acide chlorhydrique	1,7130
Acide sulfurique	0,1460
Acide arsénique	0,0042
Silice	0,0580
Protoxyde de fer	0,0180
Chaux	0,2240
Magnésie	0,0760
Lithine	traces
Potasse	0,1450
Soude	2,0570
Matières organiques	»
Total	7,7284
Extrait sec à 180°	4,650

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	2,1630
Silicate de soude	0,2300
Arséniate de soude	0,0076
Bicarbonate de chaux	0,5760
— de magnésie	0,2436
— de lithine	traces
— de soude	0,9930
— de protoxyde de fer	0,0400
Sulfate de soude	0,2590
Chlorure de potassium	0,2310
— de sodium	2,5690
Total	7,3122

Analyse du 10 septembre 1892.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEM. DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE VIC-LE-COMTE.

Commune de Vic-le-Comte.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES DE La Chapelle	Bussac	Valois	Héron
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,0350	1,3400	1,1600	1,7200
Acide carbonique des bicarbonates	0,9810	2,6030	2,6050	2,6070
Acide chlorhydrique	0,2650	1,3710	1,3710	1,3710
Acide sulfurique	0,1760	0,0890	0,0890	0,0890
Acide arsénique	»	0,0010	0,0010	0,0010
Silice	0,0410	0,1030	0,1030	0,1030
Protoxyde de fer	»	0,0014	0,0028	0,0036
Chaux	0,2700	0,4600	0,4600	0,4600
Magnésie	0,1780	0,2660	0,2660	0,2660
Lithine	0,0035	0,0120	0,0120	0,0120
Potasse	0,0350	0,1460	0,1460	0,1460
Soude	0,5090	2,1780	2,1780	2,1780
Matières organiques	»	»	»	»
Tota	3,4935	8,5704	8,3938	8,9566
Extrait sec à 180°	1,900	5,530	5,530	5,530
COMPOSITION CALCULÉE.				
Acide carbonique libre	1,0350	1,3400	1,1600	1,7200
Bicarbonate de chaux	0,6960	1,1820	1,1820	1,1820
— de magnésie	0,5690	0,8510	0,8510	0,8510
— de protoxyde de fer	»	0,0030	0,0060	0,0080
— de lithine	0,0105	0,0367	0,0367	0,0367
— de soude	0,2830	2,2060	2,2060	2,2060
Silicate de soude	0,1010	0,2550	0,2550	0,2550
Sulfate de soude	0,3120	0,1580	0,1580	0,1580
Chlorure de potassium	0,0550	0,2320	0,2320	0,2320
— de sodium	0,3680	1,9690	1,9690	1,9690
Arséniate de soude	»	0,0018	0,0018	0,0018
Total	3,4295	8,2317	8,0567	8,6187

Analyses du 19 juillet 1890.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARROND. DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE SAINT-AMAND-TALLENDE.

Commune de Chanonat. — Source de Font-Rouge.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0120
Acide carbon. des bicarbonates.	0,8638
Acide chlorhydrique	0,0203
Acide sulfurique	0,0514
Silice	0,0100
Protoxyde de fer	0,0096
Chaux	0,2912
Magnésie	0,0802
Potasse	0,0180
Soude	0,1962
Matières organiques	traces
Total	1,5527
Extrait sec à 180°	1,100

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,0120
Silice	0,0100
Sulfate de chaux	0,0874
Bicarbonate de chaux	0,6562
— de magnésie	0,2566
— de lithine	tr. très faibl.
— de potasse	0,0348
— de soude	0,4315
— de protoxyde de fer.	0,0269
Chlorure de sodium	0,0326
Matières organiques	traces
Total	1,5480

Analyse du 31 mars 1894.

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — CANTON D'ARDES.

Commune de Ternant (Mme Coudert).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,1100
Acide carbon. des bicarbonates.	1,1949
Acide chlorhydrique	0,1963
Acide sulfurique	0,0210
Silice	0,0150
Protoxyde de fer	0,0007
Chaux	0,1456
Magnésie	0,1400
Lithine	0,0005
Potasse	0,0220
Soude	0,6302
Matières organiques	tr. sensibles
Total	3,4762
Extrait sec à 180°	1,7300

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	1,1100
Silice	0,0150
Bicarbonate de chaux	0,3744
— de magnésie	0,4480
— de protoxyde de fer.	0,0016
— de lithine	0,0013
— de soude	1,1200
Sulfate de soude	0,0372
Chlorure de potassium	0,0350
— de sodium	0,2855
Matières organiques	tr. sensibles
Total	3,4280

Analyse du 11 juin 1894.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — CANTON DE CHAMPEIX.

Commune de Saurier (M. G. Rassion).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,6840
Acide carbon. des bicarbonates.	2,3820
Acide chlorhydrique	0,5730
Acide sulfurique	0,0240
Silice	0,0290
Protoxyde de fer	0,0130
Chaux	0,3650
Magnésie	0,2430
Lithine	tr. très sens.
Potasse	0,2610
Soude	1,2430
Matières organiques	»
Total	5,8170
Extrait sec à 180°	3,808

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,6840
Silice	0,0290
Bicarbonate de chaux	0,9370
— de magnésie	0,7530
— de fer	0,0303
— de lithine	tr. très sens.
— de potasse	0,5030
— de soude	0,7880
Sulfate de soude	0,0426
Chlorure de sodium	0,9200
Total	5,6869

Analyse du 17 décembre 1891.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE RIOM.

Commune de Châtel-Guyon. — Source Marie.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,5626
Acide carbon. des bicarbonates.	1,1099
Acide chlorhydrique	0,6506
Acide sulfurique	1,0300
Acide arsénique	absence
Silice	0,0055
Protoxyde de fer	0,0022
Chaux	0,5030
Magnésie	0,2080
Lithine	0,0005
Potasse	0,0317
Soude	1,0071
Matières organiques	0,0022
Total	5,2033
Extrait sec à 180°	4,090

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,5626
Silice	0,0055
Bicarbonate de chaux	1,2932
— de magnésie	0,4608
— de fer	0,0049
Chlorure de magnésium	0,3380
— de lithium	0,0042
— de potassium	0,0510
— de sodium	0,5559
Sulfate de soude	1,8087
Arséniate de soude	absence
Matières organiques	0,0022
Total	5,0840

Analyse du 3 avril 1887.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE MONZAT.

Commune de Châteauneuf-les-Bains. — Source dite *Chambozela-Garenne*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,2530
Acide carbon. des bicarbonates.	1,3876
Acide chlorhydrique	0,0977
Acide sulfurique	0,0834
Acide arsénique	traces
Silice	0,1050
Protoxyde de fer	0,0067
Chaux	0,2973
Magnésie	0,1479
Lithine	tr. très sens.
Potasse	0,0782
Soude	0,8288
Matières organiques	traces
Total	3,2856
Extrait sec à 180°	1,984

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	0,2530
Silicate de soude	0,3250
Arséniate de soude	traces
Bicarbonate de chaux	0,7639
— de magnésie	0,4732
— de protoxyde de fer.	0,0149
— de potasse	0,1512
— de lithine	tr. très sens.
— de soude	0,8504
Sulfate de soude	0,1480
Chlorure de sodium	0,1566
Matières organiques	traces
Total	3,1362

Analyse du 14 avril 1888.

Dépôt ferrugineux pris à la source :

Silice	0,078	1,000
Acide arsénique	0,019	
Peroxyde de fer	0,474	
Carbonate de chaux.	0,108	
Eau	0,321	

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE RIOM.

Commune de Châtel-Guyon. — Source Marguerite.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,0800
Acide carbon. des bicarbonates.	1,7292
Acide chlorhydrique	2,0796
Acide sulfurique	0,2780
Acide arsénique	traces très faibles
Silice	0,1150
Protoxyde de fer	0,0008
Chaux	0,9240
Magnésie	0,6240
Lithine	0,0070
Potasse	0,0543
Soude	1,2380
Matières organiques	traces
Total	8,1299
Extrait sec à 180°	5,800

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Acide carbonique libre	1,0800
Bicarbonate de chaux	2,3760
— de magnésie	0,4010
— de protoxyde de fer.	0,0020
Silicate de soude	0,1940
Sulfate de soude	0,4930
Chlorure de magnésium	1,1850
— de lithium	0,0200
— de potassium	0,0860
— de sodium	1,7790
Arséniate de soude.	traces très faibles
Matières organiques	traces
Total	7,6160

Analyse du 31 juillet 1890.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE RIOM.

Commune de Châtel-Guyon.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES	
	Gubler n° 4	des Réservoirs
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,8080	0,4200
Acide carbonique des bicarbonates	1,9000	1,9000
Acide chlorhydrique	2,2236	2,1588
Acide sulfurique	0,2759	0,2665
Silice	0,1080	0,0480
Protoxyde de fer	0,0018	0,0012
Manganèse et alumine	traces sens.	traces sens.
Chaux	1,0520	0,9880
Magnésie	0,6760	0,6400
Lithine	0,0088	0,0088
Potasse	0,1659	0,1005
Soude	1,4312	1,4227
Arsenic	tr. faibles	tr. très faib.
Matières organiques	traces	traces
Total	8,6512	7,9545
Extrait sec à 180°	6,324	6,044
Dépôt dans les bouteilles	0,012	0,057

COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	0,8080	0,4200
Bicarbonate de chaux	2,7040	2,5400
— de magnésie	0,3596	0,3059
— de protoxyde de fer	0,0039	0,0026
Chlorure de magnésium	1,3390	1,4447
— de potassium	0,2630	0,1590
— de lithium	0,0250	0,0250
— de sodium	1,7020	2,0292
Sulfate de soude	0,4890	0,4730
Silicate de soude	0,3310	0,1472
Arséniate de soude	tr. faibles	tr. très faib.
Oxyde de manganèse et alumine	traces sens.	traces sens.
Matières organiques	traces	traces
Total	8,0245	7,7466

Analyses du 6 février 1888.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE RIOM (Suite).

Commune de Châtel-Guyon.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES		
	Gubler 4	Gubler 5	Sopenet 3
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,9000	0,9000	0,3500
Acide carbonique libre des bicarbonates	1,8950	1,8950	1,8510
Acide chlorhydrique	2,2470	2,1970	2,1500
Acide sulfurique	0,2930	0,2930	0,2930
Acide arsénique	tr. faibles	tr. faibles	tr. faibles
Silice	0,1120	0,1120	0,1120
Protoxyde de fer	0,0027	0,0027	0,0023
Chaux	1,0520	0,9890	0,9440
Magnésie	0,6750	0,7040	0,7050
Lithine	0,0088	0,0088	0,0088
Potasse	0,1660	0,1580	0,1480
Soude	1,3620	1,3500	1,3200
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	8,7135	8,6095	7,8841
Extrait sec à 180°	6,410	6,320	6,200
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	0,9000	0,9000	0,3500
Bicarbonate de chaux	2,7040	2,5430	2,4340
— de magnésie	0,3590	0,4910	0,5200
— de protoxyde de fer	0,0060	0,0060	0,0050
— de manganèse	traces sens.	traces sens.	traces sens.
Chlorure de magnésium	1,3390	1,3100	1,2900
— de potassium	0,2630	0,2500	0,2350
— de lithium	0,0250	0,0250	0,0250
— de sodium	1,7020	1,6800	1,6400
Sulfate de soude	0,5200	0,5200	0,5200
Silicate de soude	0,3470	0,3470	0,3470
Arséniate de soude	tr. faibles	tr. faibles	tr. faibles
Matières organiques	traces	traces	traces
Total	8,1650	8,0720	7,3660

Analyses du 8 mai 1889.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE SAINT-PIERRE.

Vallée de Prades. — Source de Saint-Cout (M. Regnault).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0760	Acide carbonique	0,0760
Acide carbon. des bicarbonates	0,7868	Silice	0,0310
Acide chlorhydrique	1,0400	Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0040
Acide sulfurique	0,1848	— de chaux	1,2874
Silice	0,0310	Chlorure de magnésium	0,9082
Protoxyde de fer	0,0018	— de lithium	0,0097
Chaux	0,5006	— de potassium	0,0710
Magnésie	0,3860	— de sodium	0,5209
Lithine	0,0038	Sulfate de soude	0,3349
Potasse	0,0450	Matières organiques	0,0005
Soude	0,4259		
Matières organiques	0,0005	Total	3,2436
Total	3,4844		
Extrait sec à 180°	3,840	Analyse du 13 mai 1886.	

ARRONDISSEMENT DE THIERS. — CANTON DE MARENGUES.

Commune de Joze. — Source de l'Etoile.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	1,6290	Acide carbonique libre	1,6290
Acide carbon. des bicarbonates	1,6430	Silice	0,0610
Acide chlorhydrique	0,3119	Bicarbonate de chaux	1,4240
Acide sulfurique	0,1723	— de magnésie	0,4043
Silice	0,0610	— de fer	0,0152
Protoxyde de fer	0,0070	— de manganèse	traces
Protoxyde de manganèse	traces	— de lithine	tr. sens.
Chaux	0,5540	— de soude	0,6014
Magnésie	0,1263	— de potasse	0,2790
Lithine	traces sensibles	Sulfate de soude	0,3060
Potasse	0,1450	Chlorure de sodium	0,3000
Soude	0,6475		
Total	5,2970	Total	5,2199
Résidu à 180°	2,717	Analyse du 17 juillet 1893.	

DÉPARTEMENT DES BASSES-PYRÉNÉES.

ARRONDISSEMENT DE BAYONNE. — CANTON DE LABASTIDE-CLAIRANCE.

Commune de Briscous. — Eau provenant des salines de Briscous.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carb. des bicarbonates.	0,2200	Silice	0,0100
Acide chlorhydrique	184,3500	Bicarbonate de chaux	0,3600
Acide bromhydrique	0,0085	Chlorure de sodium	284,9450
Acide sulfurique	5,8350	— de potassium	6,3800
Silice	0,0100	— de magnésium	4,5600
Alumine avec tr. d'ox. de fer.	0,0050	— de lithium	traces sensibles
Chaux	1,6960	Bromure de magnésium	0,0117
Magnésie	1,9225	Sulfate de chaux	3,7780
Lithine	traces sensibles	— de soude	6,4110
Potasse	4,0250	Alumine avec tr. d'ox. de fer.	0,0050
Soude	153,7950	Total	306,4617
Matières organiques	traces faibles		
Total	351,8670		
Résidu fixe à 180°	306,280	Analyse du 20 mars 1893.	

Commune de Briscous, près Bayonne. — Quatre eaux salées.

	SOURCES			
	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
	gr.	gr.	gr.	gr.
Chlorure de sodium	297,627	330,011	325,928	359,235
Sulfate de soude	1,764	14,095	16,324	24,452
— de magnésie	3,570	6,186	10,623	24,813
— de chaux	3,881	3,536	3,305	»
Alcalinité exprimée en carbonate de chaux.	0,458	0,772	0,620	»
Résidu salin par litre	307,300	354,600	356,800	408,500

Analyses du 29 juillet 1892.

DÉPARTEMENT DES BASSES-PYRÉNÉES (Suite).

ARRONDISSEMENT D'ORTHEZ. — CANTON DE SALIES-DE-BÉARN.

Commune de Salies-de-Béarn. — Eau de la vallée de Jaleys. (M. Beigbeder Camps).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0958	Acide carbonique libre	0,0958
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1742	Bicarbonate de chaux	0,2163
Acide chlorhydrique	0,0330	— de magnésie	0,0608
Acide sulfhydrique	0,0004	Sulfate de chaux	0,1339
Acide sulfurique	0,0800	Sulfure de sodium	0,009
Silice	traces	Chlorure de sodium	0,0537
Chaux	0,1398	— de potassium	traces
Magnésie	0,0190	Total	0,5634
Potasse	traces		
Soude	0,0291		
Matières organiques	»		
Total	0,5713	Analyse du 5 décembre 1893.	

DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES.

ARRONDISSEMENT ET CANTON D'ARGELÈS.

Commune de Luz-Saint-Sauveur (M. Layre-Dufau).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1177	Silice	0,0100
Acide chlorhydrique	0,0432	Bicarbonate de protoxyde de fer.	0,0040
Acide sulfurique	0,0300	— de magnésie	0,0176
Acide sulfhydrique	0,0122	— de chaux	0,0124
Silice	0,0100	Sulfate de chaux	0,0510
Protoxyde de fer	0,0040	Sulfure de sodium	0,0261
Chaux	0,0688	Chlorure de sodium	0,0672
Magnésie	0,0055	— de potassium	traces faibles
Potasse	traces faibles	Matières organiques	0,0022
Soude	0,0135	Total	0,3005
Matières organiques	0,0022		
Total	0,3349		
Extrait sec à 180°	0,260	Analyse du 10 août 1887.	

DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES (Suite).

ARRONDISSEMENT D'ARGELÈS. — CANTON DE LOURDES.

Commune de Gazost. — Source Noire.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	»
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0200
Acide sulfhydrique	0,0030
Acide chlorhydrique	0,2320
Acide sulfurique	0,0280
Silice	0,0430
Protoxyde de fer	»
Chaux	0,0270
Magnésie	0,0040
Lithine	traces sensibles
Potasse	0,0090
Soude	0,2210
Matières organiques.	traces très faibles
Total	0,5870
Extrait sec à 180°.	0,535

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide sulfhydrique	0,0030
Bicarbonate de chaux	0,0194
— de magnésie	0,0128
Silicate de soude	0,0720
Sulfate de chaux	0,0478
Chlorure de sodium	0,3610
— de potassium	0,0140
— de lithium.	traces sensibles
Matières organiques.	traces très faibles
Total	0,5800

Analyse du 31 mai 1890.

ARRONDISSEMENT DE BAGNÈRES-DE-BIGORRE. — CANTON DE CAMPAN.

Commune d'Asté. — Source de Crastes, gorge de l'Abat.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0778
Acide chlorhydrique	0,0030
Acide sulfurique	0,4978
Silice	0,0200
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,2951
Magnésie	0,0735
Potasse	traces
Soude	0,0025
Matières organiques	0,0012
Total	0,9709
Extrait sec à 180°.	0,930

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Silice	0,0200
Bicarbonate de chaux	0,0893
— de magnésie	0,0338
— de protoxyde de fer.	traces
Sulfate de chaux	0,6324
— de magnésie	0,1887
Chlorure de potassium.	traces
— de sodium	0,0048
Matières organiques	0,0012
Total	0,9702

Analyse du 24 mai 1886.

DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES (Suite).

ARRONDISSEMENT DE BAGNÈRES-DE-BIGORRE. — CANTON DE CAMPAN.

Commune de Campan.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,01908
Acide chlorhydrique	0,00119
Acide sulfurique	0,01514
Silice	0,02250
Soufre	0,00208
Chaux	0,00894
Magnésie	0,00228
Potasse	0,00094
Soude	0,01689
Matières organiques (perte au rouge)	0,02600
Total	0,11534
Extrait sec à 180°	0,114

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Silice	0,0225
Sulfhydr. de sulfate de sodium.	0,0072
Bicarbonate de chaux	0,0230
— de magnésie	0,0073
Sulfate de soude	0,0274
Chlorure de sodium	0,0018
— de potassium.	0,0001
Matières organiques (perte au rouge)	0,0260
Total	0,1153

Analyse du 16 novembre 1892.

ARROND. DE BAGNÈRES-DE-BIGORRE. — CANT. DE MAULÉON-BAROUSSE.

Commune de Sainte-Marie-les-Bains. — Source de Siradou.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE. On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0222
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1082
Acide chlorhydrique	0,0052
Acide sulfurique	1,0810
Silice	0,0250
Protoxyde de fer	0,0005
Chaux	0,6720
Magnésie	0,0660
Lithine	tr. très faib.
Potasse	traces
Soude	0,0718
Matières organiques	0,0012
Total	2,0531
Extrait sec à 180°	1,980

COMPOSITION CALCULÉE.	gr.
Acide carbonique libre	0,0222
Silice	0,0250
Bicarbonate de chaux	0,1770
— de protoxyde de fer.	0,0011
Sulfate de chaux	1,4654
— de magnésie.	0,1980
— de soude	0,1542
Chlorure de sodium	0,0081
— de potassium	traces
— de lithium	tr. très faib.
Matières organiques.	0,0012
Total	2,0522

Analyse du 8 août 1886.

DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES (Suite).

ARROND. DE BAGNÈRES-DE-BIGORRE. — CANT. DE VIEILLE-AURE.

Commune de Tramesaygues (M. Valentian).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide sulfhydrique	0,0069
Acide chlorhydrique	0,0830
Acide sulfurique	0,0023
Silice	0,0490
Chaux	0,0080
Magnésie	traces
Lithine	0,0038
Potasse	tr. à peine sens.
Soude	0,1240
Matières organiques	0,0090
Total	0,2830
Extrait sec à 180°	0,287

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Sulfure de sodium	0,0170
Silicate de soude	0,0830
Sulfate de soude	0,0410
Chlorure de sodium	0,1050
— de lithium	0,0110
— de potassium	tr. à peine sens.
— de calcium	0,0150
— de magnésium	traces
Matières organiques	0,0090
Total	0,2810

Analyse du 13 septembre 1889.

DÉPARTEMENT DES PYRÉNÉES-ORIENTALES.

ARROND. DE CÉRET. — CANTON D'ARGELÈS-SUR-MER.

Commune de Montesquieu-des-Albères (M. Massia).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	1,4050
Acide carbon. des bicarbonates	0,4615
Acide chlorhydrique	0,0073
Acide sulfurique	0,0157
Silice	0,0525
Protoxyde de fer	0,0013
Chaux	0,2220
Magnésie	0,0316
Lithine	traces
Potasse	traces
Soude	0,0494
Matières organiques	traces
Total	2,2463
Extrait sec à 880°	0,613

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	1,4050
Silice	0,0525
Bicarbonate de chaux	0,5702
— de magnésie	0,1010
— de protoxyde de fer	0,0029
— de potasse	traces
— de lithine	traces
— de soude	0,0750
Sulfate de soude	0,0280
Chlorure de sodium	0,0116
Matières organiques	traces
Total	2,2462

Analyse du 3 mai 1888.

DÉPARTEMENT DES PYRÉNÉES-ORIENTALES (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CÉRET.

Commune du Boulou. — Source de Saint-Martin-de-Fenouillard.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates	4,2140
Acide chlorhydrique	0,7290
Acide sulfurique	absence
Silice	0,0620
Protoxyde de fer	tr. très faib.
Chaux	0,4880
Magnésie	0,2020
Potasse	0,1490
Soude	2,6450
Matières organiques	traces
Lithine	traces sens.
Total	8,4890
Extrait sec à 180°	6,180

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0620
Bicarbonate de chaux	1,2540
— de magnésie	0,6420
— de prot. de fer	tr. très faib.
— de lithine	traces sens.
— de potasse	0,2870
— de soude	4,8950
Sulfate de soude	absence
Chlorure de sodium	1,1690
Matières organiques	traces
Total	8,3090

Analyse du 25 mars 1889.

DÉPARTEMENT DES PYRÉNÉES-ORIENTALES (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CÉRET.

Commune du Boulou.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Clémentine	Boulou
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	1,4990	2,3680
Acide carbonique des bicarbonates	4,1660	3,3720
Acide chlorhydrique	0,7112	0,5588
Acide sulfurique	0,0009	0,0019
Acide arsénique	0,0001	0,0001
Silice	0,0600	0,0800
Protoxyde	0,0077	0,0058
Chaux	0,2016	0,4910
Magnésie	0,1680	0,2370
Potasse	0,0850	0,0469
Lithine	0,0025	0,0039
Soude	3,0719	1,8975
Matières organiques	0,0018	0,9012
Total	9,9765	9,0641
Extrait sec à 180°	6,400	4,873
COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	1,4990	2,3680
Silice	0,0600	0,0800
Bicarbonate de chaux	0,5184	1,2610
— de magnésie	0,5376	0,7640
— de fer	0,0171	0,0129
— de potasse	0,1644	0,0912
— de lithine	0,0063	0,0099
— de soude	5,8910	3,4390
Sulfate de soude	0,0016	0,0031
Arséniate de soude	0,00015	0,00015
Chlorure de sodium	1,1383	0,8952
Matieres organiques	0,0018	0,0012
Total	9,83565	9,92595

Analyses du 28 septembre 1889.

DÉPARTEMENT DES PYRÉNÉES-ORIENTALES (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRADES — CANTON D'OLETTE.

Graüs de Canaveilles.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Saint-Jacques (35°)	des Douches (40°)	n° 3 (64°)
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.
Acice carbonique libre	0,0186	0,0124	0,0177
Acide carbonique des bicarbonates	0,1232	0,1060	0,0896
Acide chlorhydrique	0,0063	0,0056	0,0059
Acide sulfurique	0,0206	0,0233	0,0326
Acide sulfhydrique	0,0019	absence	0,0014
Silice	0,0740	0,0650	0,0620
Protoxyde de fer	0,0005	0,0004	0,0002
Chaux	0,0084	0,0045	0,0028
Magnésie	0,0007	0,0003	0,0002
Potasse	traces	traces	traces
Soude	0,1010	0,0918	0,0925
Matières organiques	0,0045	0,0033	0,0036
Total	0,3597	0,3126	0,3085
Extrait sec à 180°	0,273	0,245	0,240
COMPOSITION CALCULÉE.			
Acide carbonique libre	0,0186	0,0124	0,0177
Silice	0,0740	0,0650	0,0620
Bicarbonate de chaux	0,0216	0,0115	0,0072
— de magnésie	0,0022	0,0010	0,0006
— de protoxyde de fer	0,0011	0,0009	0,0005
— de potasse	traces	traces	traces
— de soude	0,1840	0,1670	0,1443
Sulfate de soude	0,0365	0,0414	0,0578
Sulfure de sodium	0,0043	absence	0,0032
Chlorure de sodium	0,0102	0,0089	0,0094
Matières organiques	0,0045	0,0033	0,0036
Total	0,3570	0,3114	0,3063

Analyses du 31 juillet 1885.

DÉPARTEMENT DU RHONE.

ARRONDISSEMENT DE LYON. — CANTON DE ST-LAURENT-DE-CHAMOUSSET.

Commune de Souzy-l'Argentière. — Source de Sainte-Foy-l'Argentière.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	traces
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2082
Acide chlorhydrique	0,0063
Acide sulfurique	0,0391
Silice	0,0190
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,0600
Magnésie	0,0270
Lithine	tr. faibles
Potasse	0,0041
Soude	0,0727
Matières organiques	tr. faibles
Total	0,4364
Extrait sec à 180°	0,325

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0190
Bicarbonate de chaux	0,1550
— de magnésie	0,0850
— de fer	traces
— de soude	0,0900
— de potasse	0,0077
— de lithine	tr. faibles
Sulfate de soude	0,0690
Chlorure de sodium	0,0102
Total	0,4359

Analyse du 7 mai 1891.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-SAONE.

ARRONDISSEMENT DE LURE. — CANTON DE SAULX-DE-VESOUL.

Commune de Saulx-de-Vesoul. — Source de Vellemenfroy.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,6144
Acide chlorhydrique	0,0055
Acide sulfurique	1,2417
Silice	0,0250
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,5360
Magnésie	0,1440
Lithine	traces
Potasse	0,0024
Soude	0,6124
Matières organiques	tr. sensibles
Total	3,1814
Extrait sec à 180°	2,8700

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0250
Bicarbonate de protoxyde de fer	traces
— de chaux	1,0053
Sulfate de chaux	0,3524
— de magnésie	0,4320
— de soude	1,3553
Chlorure de sodium	0,0066
— de potassium	0,0018
— de lithium	traces
Matières organiques	tr. sensibles
Total	3,1784

Analyse du 11 juin 1895.

DÉPARTEMENT DE LA SAVOIE.

ARRONDISSEMENT DE CHAMBÉRY. — CANTON D'AIX-LES-BAINS.

Commune d'Aix-les-Bains. — Source Saint-Simon.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0420
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2800
Acide chlorhydrique	0,0010
Acide sulfurique	0,0220
Silice	0,0050
Protoxyde de fer	»
Chaux	0,1250
Magnésie	0,0390
Potasse	0,0016
Soude	0,0110
Matières organiques	traces
Total	0,5266
Extrait sec à 180°	0,390

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,0420
Silice	0,0050
Bicarbonate de chaux	0,3160
— de magnésie	0,1230
Sulfate de soude	0,0390
Chlorure de potassium	0,0026
Total	0,5276

Analyse du 13 février 1891.

ARRONDISSEMENT DE MOUTIERS. — CANTON DE SALINS.

Commune de Salins. — Source Marquette.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,0500
Acide carbon. des bicarbonates.	0,3654
Acide chlorhydrique	1,4710
Acide sulfurique	0,9492
Silice	0,0170
Protoxyde de fer	tr. faibles
Chaux	0,5940
Magnésie	0,1960
Potasse	0,0548
Soude	1,2466
Matières organiques	traces
Total	4,9440
Extrait sec à 180°	4,450

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,0500
Silice	0,0170
Bicarbonate de prot. de fer	tr. faibles
— de chaux	0,5977
Sulfate de chaux	0,8790
— de magnésie	0,5890
— de soude	0,0693
Chlorure de sodium	2,2920
— de potassium	0,0868
Matières organiques	traces
Total	4,5808

Analyse du 5 mai 1888.

DÉPARTEMENT DE LA SAVOIE (Suite).

ARRONDISS. DE MOUTIERS. — CANTON DE NOTRE-DAME-DE-BRIANÇON.

Commune de Notre-Dame-de-Briançon.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	LA LECHÈRE Puits n° 1	LA LECHÈRE Puits n° 2
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,1121	0,1186
Acide chlorhydrique	0,0890	0,0872
Acide sulfurique	1,2210	1,2990
Silice	0,0050	0,0050
Protoxyde de fer	traces	traces
Chaux	0,6615	0,7034
Magnésie	0,0430	0,0460
Lithine	tr. très faib.	tr. très faib.
Potasse	»	»
Soude	0,3010	0,3140
Matières organiques	traces	traces
Total	2,4326	2,5732
Extrait sec à 180°	2,388	2,525
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0050	0,0050
Bicarbonate de chaux	0,1820	0,1940
— de lithine	tr. très faib.	tr. très faib.
— de protoxyde de fer	traces	traces
Sulfate de chaux	1,4370	1,5250
— de magnésie	0,1290	0,1380
— de soude	0,5150	0,5500
Chlorure de sodium	0,1390	0,1350
Matières organiques	traces	traces
Total	2,4070	2,5470

Analyses du 21 décembre 1888.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-SAVOIE.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-JULIEN. — CANTON DE CRUSEILLES.

Commune d'Allonzier.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES St-François	SOURCES du Château
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates	0,2500	0,3153
Acide chlorhydrique	0,0050	0,0026
Acide sulfurique	0,0137	0,0196
Acide sulfhydrique	0,0044	0,0022
Silice	0,0250	0,0300
Protoxyde de fer	tr. très faibles	traces faibles
Chaux	0,1120	0,1237
Magnésie	0,0360	0,0576
Potasse	0,0005	0,0006
Soude	0,0101	0,0083
Matières organiques	0,0012	0,0020
Total	0,4579	0,5655
Extrait sec à 180°	0,330	0,395
COMPOSITION CALCULÉE.		
Silice	0,0250	0,0300
Bicarbonate de protoxyde de fer	tr. très faibles	tr. très faibles
— de magnésie	0,1156	0,1843
— de chaux	0,2633	0,2923
Sulfate de chaux	0,0233	0,0296
Chlorure de potassium	0,0007	0,0008
— de sodium	0,0077	0,0086
Sulfure de sodium	0,0107	0,0054
Matières organiques	0,0012	0,0020
Total	0,4475	0,5530

Analyses du 27 octobre 1887.

DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-OISE.

ARRONDISSEMENT DE PONTOISE. — CANTON DE MARINES.

Commune de Santeuil.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES Saint-Jean	SOURCES des Gardes
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.
Acide carbonique libre	0,0510	0,0600
Acide carbonique des bicarbonates	0,3174	0,3076
Acide chlorhydrique	0,0153	0,0155
Acide sulfurique	0,0415	0,0418
Acide phosphorique	traces	traces
Silice	0,0160	0,0280
Protoxyde de fer	0,0021	0,0012
Chaux	0,1792	0,1780
Magnésie	0,0360	0,0330
Lithine	0,0003	0,0005
Potasse	0,0040	0,0040
Soude	0,0110	0,0120
Matières organiques	traces faibl.	traces faibl.
Total	0,6738	0,6816
Extrait sec à 180°	0,452	0,468

COMPOSITION CALCULÉE.		
Acide carbonique libre	0,0510	0,0600
Silice	0,0160	0,0280
Bicarbonate de chaux	0,3857	0,3823
— de magnésie	0,1152	0,1056
— de protoxyde de fer	0,0046	0,0026
Sulfate de chaux	0,0707	0,0711
Phosphates	traces faibl.	traces faibl.
Chlorure de lithium	0,0008	0,0013
— de potassium	0,0063	0,0063
— de sodium	0,0207	0,0225
Matières organiques	traces faibl.	tr. sensibles
Total	0,6710	0,6797

Analyses du 18 septembre 1888.

DÉPARTEMENT DU TARN.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE CASTRES.

Commune de Brassac. — Source du Verdier.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide chlorhydrique	0,0310
Acide sulfurique	2,0330
Silice	0,0700
Protoxyde de fer	0,8860
Oxyde de cuivre	0,0960
Chaux	0,1680
Magnésie	0,0280
Potasse	0,0480
Soude	0,0830
Matières organiques	»
Total	3,5290

COMPOSITION CALCULÉE.	
	gr.
Silice	0,0700
Sulfate de peroxyde de fer	2,1660
— d'aluminium	0,2870
— de chaux	0,4080
— de magnésie	0,0840
— de potassium	0,1166
— de soude	0,1217
— de cuivre	0,1940
Chlorure de sodium	0,0486
Total	3,4899

Analyse du 29 mars 1894.

DÉPARTEMENT DE TARN-ET-GARONNE.

ARRONDISSEMENT DE MONTAUBAN. — CANTON DE SAINT-ANTONIN

Commune de Fenayrols.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.	SOURCES			
	Bourbouzole		de l'Église	Villeneuve
	n° 1	n° 2		
On a dosé par litre d'eau :	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates.	0,2694	0,2774	0,2548	0,2808
Acide chlorhydrique	0,0089	0,0089	0,0089	0,0094
Acide sulfurique	0,9573	1,2525	1,2563	1,1080
Silice	0,0120	0,0150	0,0150	0,0200
Protoxyde de fer	0,0027	0,0045	0,0045	0,0033
Chaux	0,6420	0,8470	0,8650	0,7581
Magnésie	0,1440	0,1440	0,1240	0,1400
Lithine	tr. très faibl.	tr. très faibl.	tr. très faibl.	tr. très faibl.
Potasse	0,0040	0,0040	0,0040	0,0036
Soude	0,0049	0,0049	0,0049	0,0055
Matières organiques	traces faibles	traces faibles	traces faibles	traces faibles
Total	2,0422	2,5582	2,5374	2,3287
Extrait sec à 180°	2,018	2,506	2,457	2,330
COMPOSITION CALCULÉE.				
Silice	0,0120	0,0150	0,0150	0,0200
Bicarbonate de fer	0,0059	0,0099	0,0099	0,0073
— de chaux	0,4310	0,4539	0,4081	0,4553
Sulfate de chaux	1,1521	1,6283	1,7153	1,4076
— de magnésie	0,1240	0,1320	0,1720	0,1200
Chlorure de potassium	0,0063	0,0063	0,0063	0,0057
— de lithium	tr. très faibl.	tr. très faibl.	tr. très faibl.	tr. très faibl.
— de sodium	0,0094	0,0094	0,0094	0,0104
Matières organiques	traces faibles	traces faibles	traces faibles	traces faibles
Total	2,0407	2,5548	2,5360	2,3263

Analyses du 24 juillet 1893 et du 26 juillet 1894.

DÉPARTEMENT DU VAR.

ARRONDISSEMENT DE DRAGUIGNAN — CANTON DE FRÉJUS.

Comm. de St-Raphaël. — Eau du puits Aurélien, à Valescure.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	»	Silice	0,0230
Acide carbon. des bicarbonates.	0,3401	Bicarbonate de chaux	0,3570
Acide chlorhydrique	0,1529	— de magnésie	0,1352
Acide sulfurique	0,0549	— de soude	0,0639
Silice	0,0230	Sulfate de soude	0,0975
Protoxyde de fer	tr. très faib.	Chlorure de sodium	0,2452
Chaux	0,1388	— de potassium	0,0355
Magnésie	0,0423	— de lithium	tr. très faib.
Lithine	tr. faibles	Matières organiques	tr. très faib.
Potasse	0,0223	Total	0,9573
Soude	0,2074		
Matières organiques.	tr. très faib.		
Total	0,9817		
Extrait sec à 180°	0,750	Analyse du 31 janvier 1893.	

DÉPARTEMENT DE LA VIENNE.

ARRONDISSEMENT DE CIVRAY. — CANTON D'AVAILLE-LIMOUSINE.

Commune d'Availle-Limousine (M. Buisson des Leszes).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.		COMPOSITION CALCULÉE.	
On a dosé par litre d'eau :	gr.		gr.
Acide carbonique libre	»	Silice	0,0240
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1432	Bicarbonate de chaux	0,2343
Acide chlorhydrique	2,2286	Sulfate de chaux	0,2269
Acide sulfurique	0,1335	Chlorure de calcium	0,9405
Silice	0,0240	— de magnésium	0,3153
Protoxyde de fer	»	— de potassium	0,0450
Chaux	0,6590	— de lithium	0,0350
Magnésie	0,1317	— de sodium	2,1170
Lithine	0,0123	Matières organiques	traces
Potasse	0,0284	Total	3,9380
Soude	1,1235		
Matières organiques	»		
Total	4,4872		
Extrait sec à 180°	3,900	Analyse du 18 juin 1890.	

DÉPARTEMENT DES VOSGES.

ARRONDISSEMENT DE MIRECOURT. — CANTON DE VITTEL.

Commune de Contrexeville (D. Thierry).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbonique libre	0,1620
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2130
Acide chlorhydrique	0,0083
Acide sulfurique	1,1168
Silice	0,0280
Protoxyde de fer	0,0023
Chaux	0,7952
Magnésie	0,0828
Lithine	absence
Potasse	0,0009
Soude	0,0115
Matières organiques	0,0018
Total	2,4226
Extrait sec à 180°	2,160

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Acide carbonique libre	0,1620
Silice	0,0280
Bicarbonate de chaux	0,3312
— de magnésie	0,0114
— de protoxyde de fer.	0,0051
Sulfate de chaux	1,6182
— de magnésie	0,2375
— de soude	0,0116
Chlorure de sodium	0,0122
— de potassium	0,0015
— de lithium	absence
Matières organiques	0,0018
Total	2,4205

Analyse du 10 mars 1886.

ARRONDISSEMENT DE MIRECOURT. — CANTON DE VITTEL.

Commune de Contrexéville. — Source Mongeot (ancien captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0950
Acide chlorhydrique	0,0120
Acide sulfurique	1,0820
Silice	0,0125
Protoxyde de fer	traces
Chaux	0,7066
Magnésie	0,0222
Lithine	0,0008
Potasse	0,0006
Soude	0,0929
Matières organiques	0,0077
Total	2,0323
Extrait sec à 180°	2,010

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0125
Bicarbonate de chaux	0,0680
— de magnésie	0,0710
— de protoxyde de fer.	traces
Sulfate de chaux	1,6595
— de soude	0,1873
Chlorure de sodium	0,0201
— de potassium	0,0009
— de lithium	0,0023
Arséniate de soude	absence
Matières organiques	0,0077
Total	2,0293

Analyse du 30 mars 1885.

DÉPARTEMENT DES VOSGES.

ARRONDISSEMENT DE MIRECOURT. — CANTON DE VITTEL.

Commune de Contrexeville. — Source Mongeot (nouveau captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE.

On a dosé par litre d'eau :	gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2838
Acide chlorhydrique	0,0035
Acide sulfurique	1,1854
Silice	0,0050
Protoxyde de fer	0,0007
Chaux	0,7202
Magnésie	0,0900
Lithine	0,0015
Potasse	0,0005
Soude	0,1457
Matières organiques	traces
Total	2,4363
Extrait sec à 180°	2,2900

COMPOSITION CALCULÉE.

	gr.
Silice	0,0050
Bicarbonate de protoxyde de fer.	0,0015
— de chaux	0,4621
Sulfate de chaux	1,3500
— de magnésie	0,2700
— de soude	0,3289
Chlorure de sodium	0,0044
— de potassium	0,0008
— de lithium	0,0049
Matières organiques	traces
Total	2,4276

Analyse du 11 juin 1894.

BULLETIN

EXPÉRIENCES SUR LA RÉSISTANCE DES FOYERS CYLINDRIQUES.

La *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* (9 juin 1894) donne une intéressante relation, par M. C. Bach, des expériences exécutées, pendant les années 1887 à 1892, sur la résistance des foyers intérieurs de chaudières, à l'arsenal impérial de Danzig.

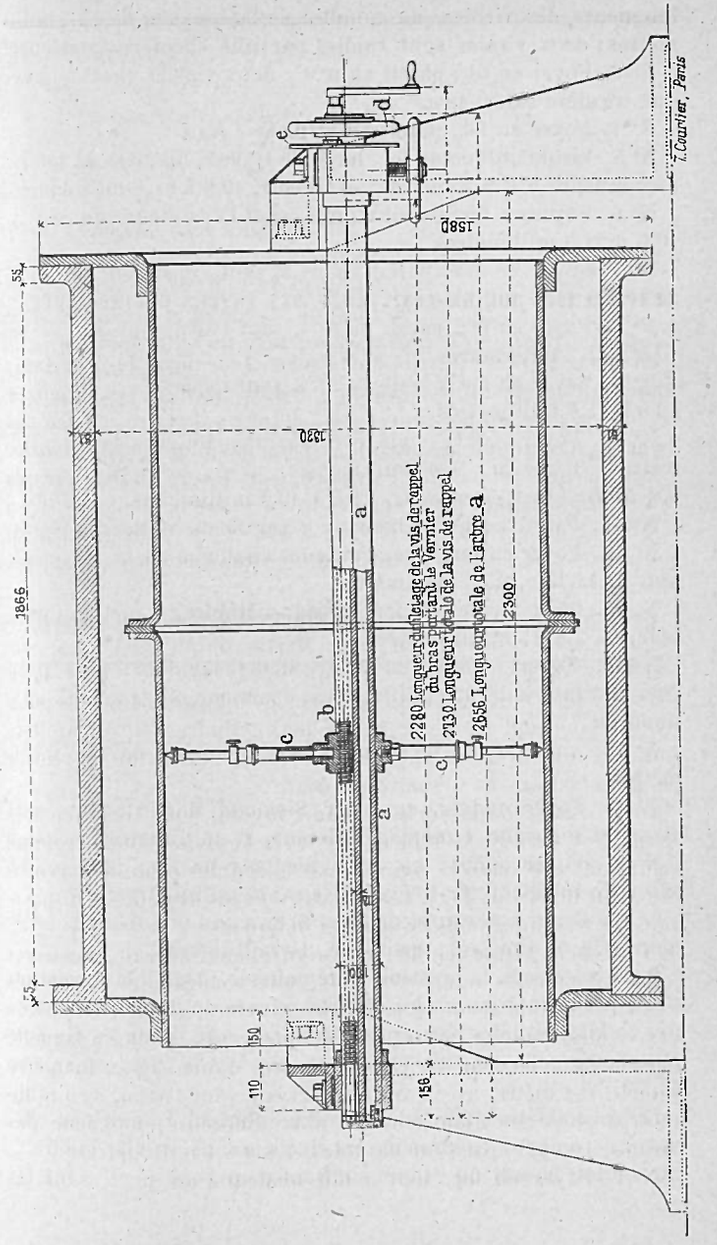
Les célèbres essais de Fairbairn, sur les cylindres pressés extérieurement, ont porté sur des tubes de faible épaisseur (1,1 à 6,35^{mm}) et de petit diamètre (102 à 476^{mm}). A Danzig, on a au contraire opéré sur des pièces de dimensions employées dans les chaudières marines.

La figure ci-contre représente l'appareil d'essai, composé d'un cylindre très résistant, en acier Martin, muni de brides, sur lesquelles on boulonnait, avec un joint étanche, deux tôles planes rivées sur les bouts du foyer cylindrique. Une pression hydraulique était exercée entre les deux cylindres; un appareil de mesure, monté comme une barre d'alésage, permettait de relever les déformations du cylindre pressé.

On a essayé de la sorte dix-huit foyers, dont treize en tôle lisse, avec viroles assemblées par leurs bords emboutis, comme celui que représente la figure, quatre ondulés et un à nervures (de John Brown and C°). Les pièces essayées avaient les dispositions et les dimensions ci-dessous indiquées :

N° 1. Deux viroles en fer, avec rivure longitudinale, à couvre-joints et simples rangs de rivets; tôle soudée aux extrémités des viroles. Une cornière circulaire est rivée à l'extérieur d'une des viroles, pour la raidir; elle ne touche pas la tôle, à laquelle elle est rattachée par des rivets entourés d'une bague. Diamètre intérieur, 1 mètre, avec écarts observés (avant l'essai) de 6 millimètres entre les diamètres les plus différents; longueur des viroles, 1^{m},062; épaisseur des tôles, 7,8 à 8,4 millimètres.

N° 2. Foyer en fer, tout à fait analogue au n° 1, sauf les



longueurs des viroles, au nombre de 3, longues de 737 millimètres; deux viroles sont raidies par une cornière extérieure.

N° 3. Foyer en fer, pareil au n° 1 : deux viroles chacune avec une cornière extérieure.

N° 4. Foyer en fer, pareil au n° 2.

N° 5. Virole unique en fer, large de 1m,980; diamètre, 1 mètre, avec écart de 6,4 millimètres; épaisseur, 10,8 à 11,8 millimètres.

N° 6. Foyer en fer, pareil au n° 1, sauf l'épaisseur, qui est de 10,5 à 11,5 millimètres.

N° 7. Foyer en fer, pareil au n° 3, sauf l'épaisseur, qui est de 10,4 à 11,2 millimètres.

N° 8. Foyer en fer, pareil au n° 4, sauf l'épaisseur, qui est de 10,6 à 11,2 millimètres.

N° 9. Foyer en fer, pareil au n° 4, sauf l'épaisseur, qui est de 10,8 à 11,6 millimètres.

N° 10. Foyer en fer, soudé à trois viroles, longues de 520 millimètres; diamètre, 950 millimètres, avec écarts maxima de 6,8 millimètres; épaisseur, 12,4 à 13,2 millimètres.

N° 11. Pareil au n° 10, mais en acier Siemens-Martin, soudé.

N° 12. Foyer en fer, rivé, d'ailleurs analogue au n° 11; épaisseur de la tôle, 15,5 millimètres.

N° 13. Deux viroles en fer, rivées; diamètre, 1 mètre; épaisseur, 14,7 à 15,2 millimètres.

N° 14. Foyer ondulé, en acier Siemens-Martin; plus petit diamètre intérieur, 950 millimètres; épaisseur moyenne, 13 millimètres.

N° 15. Analogue au n° 14, mais avec épaisseur de 14,5 millimètres.

N° 16. Foyer ondulé, en acier Siemens-Martin; plus petit diamètre intérieur, 1 mètre; épaisseur, 16 millimètres.

N° 17. Foyer ondulé en acier Siemens-Martin; plus grand diamètre intérieur, 1m,150; épaisseur, 17 millimètres.

N° 18. Foyer à nervures de John Brown and C°; diamètre intérieur, 950 millimètres; épaisseur, 14 millimètres.

Dans ces essais, la pression a été poussée jusqu'à la formation d'une poche intérieure : les chiffres relevés de la pression effective en kilogrammes par centimètre carré, sont, pour les dix-huit chaudières : 24, 30, 30, 30, 32, 45, 45, 45, 55, 55, 48, 80, 70, 65, 70, 75, 70, 60.

La consolidation par une cornière extérieure paraît peu efficace : on ne peut rapprocher les rivets autant qu'il le faudrait, car on doit laisser un espace suffisant pour l'eau.

M. Bach donne la formule suivante pour fixer l'épaisseur d'un foyer cylindrique :

$$e = \frac{p\,d}{2000}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p}\,\frac{1}{1 + \frac{d}{p}}}\right)$$

où :

e est l'épaisseur en millimètres;

p la pression effective en kilogrammes par centimètre carré;

d le diamètre extérieur en centimètres;

l la longueur de la virole, en millimètres;

a un coefficient qu'on peut prendre égal à 80 quand la chaudronnerie est bonne.

Les expériences indiquent, pour rapport de la pression de rupture à la pression p de la formule, le rapport 6,08 à 8,35.

Le mémoire de M. Bach est accompagné du dessin de tous les foyers essayés, avant et après l'essai.

Ed. Sauvage.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BAVIÈRE EN 1893.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉ	VALEUR	NOMBRE d'ouvriers
	1° *Mines.*		
	tonnes	francs	
Houille	802.538	10.001.785	4.949
Lignite	17 167	72.589	120
Minerai de fer	149.271	735.550	635
— de cuivre	650	13 812	28
— de manganèse	180	2.250	3
Pyrites de fer	2.108	26.345	45
Graphite	3 140	260 050	»
Sel gemme	1.214	37.819	108
	2° *Usines.*		
Fonte	75.209	4.280.910	418
Fer en barres	49.909	7.417.057	2.222
Acier	60.824	8.225.370	459

(*Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ITALIE EN 1893.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉ	VALEUR	PRIX moyen	NOMBRE d'ouvriers
1° Production des mines.				
	tonnes	francs	fr. c.	
Minerai de fer	191.305	1.782.667	9,32	2.012
— de ferro-manganèse	8.805	74.842	8,50	66
— de manganèse	810	32.744	40,42	73
— de cuivre	96.299	2.547.548	26,45	2.177
— de zinc	132.767	10.467.074	78,83	10.922
— de plomb	29.004	4.065.537	140,17	
— d'argent	1.236	1.177.973	953,05	926
— d'or	7.393	663.733	89,77	515
— d'antimoine	1.193	202.010	169,32	294
— de mercure	19.450	1.105.346	56,83	543
Pyrite de fer	29.460	361.136	12,25	495
Combustibles minéraux	317.249	2.173.506	6,85	2.105
Soufre (minerai)	16.300	684.600	42,00	34.466
Soufre fondu	401.371	28.932.075	72,08	
Sel gemme	16.790	284.550	16,94	319
Sel de sources	8.682	199.054	23,14	149
Asphalte et bitume	25.980	565.800	21,77	535
Pétrole	2.652	795.650	299,79	130
Eaux minérales	13.896	189.526	13,63	4
Alunite	4.200	20.160	4,80	75
Acide borique	2.847	1.565.850	550,00	433
Graphite	1.465	15.399	10,51	45
Totaux	1.329.074	57.906.180	»	56.314
2° Production des usines métallurgiques.				
	tonnes	francs	fr. c.	
Fonte	8.038	1.154.605	143,64	182
Fonte de 2e fusion	8.159	2.156.000	264,24	
Fer	138.046	34.124.214	247,20	10.959
Acier	71.380	16.987.130	237,98	
Tôles étamées	2.500	1.250.000	500,00	146
Plomb	19.898	4.974.500	250,00	766
Argent	40.095 kg	5.653.395	141,00	
Or	362 kg	1.121.016	3.093,31	89
Mercure	273ton	1.323.686	4.848,66	69
Antimoine	376	297.800	792,02	35
Cuivre et alliages de cuivre	6.911	11.931.237	1.726,31	1.539
Zinc	250	275.000	1.100,00	»
Soufre raffiné	34.750	3.209.510	92,36	373
Soufre en poudre	94.624	9.562.388	101,06	970
Sel marin	397.506	4.647.611	11,69	2.951
Pétrole, benzine, etc.	2.613	1.293.380	495,00	57
Asphalte et bitume	8.905	328.558	36,89	125
Agglomérés de charbon minéral	540.790	16.368.630	30,26	755
Agglomérés de charbon végétal	19.200	1.704.000	88,75	
Gaz d'éclairage. Gaz	154.877.166m3	36.055.245	0,27	3.741
Gaz d'éclairage. Produits secondaires (coke, goudron, eaux ammoniacales)	454.231ton	14.379.481	»	
Totaux	»	168.807.406	»	22.757

(*Extrait de la* Rivista del servizio minerario nel 1893).

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DES ÉTATS-UNIS EN 1892 (*) ET EN 1893.

	1892		1893	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
1° Métaux.	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Fonte	9.122.413	697.580.421	7.156.782	486.341.441
Spiegel et ferromanganèse	182.015	34.432.962	82.424	14.986.926
Cuivre	147.647	190.190.952	146.324	179.631.729
Plomb	186.548	85.213.072	175.931	74.939.210
Zinc	76.279	40.331.441	76.255	32.192.571
Mercure	971	5.800.150	1.046	5.742.170
Nickel	44	208.839	12	64.382
Aluminium	65	154.504	»	»
Etain	181	186.180	318	326.340
Antimoine	2.022.195 kg	435.319.430	1.881.732 kg	405.181.931
Argent (en kilogrammes)	49.652	170.924.828	54.091	186.221.000
Or (idem.)	11	9.065	9,3	48.174
Platine (idem.)				
Total		1.661.435.412		1.386.726.378
2° Matières minérales.	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Charbon. Anthracite	47.352.696	464.790.947	48.818.356	482.214.851
Charbon. Houille bitumineuse	116.059.045	643.514.156	115.263.204	614.326.420
Coke	12.204.203	121.321.386	9.949.986	76.086.404
Asphalte	42.675	1.315.803	31.701	905.050
Ozokérite (raffinée)	59	40.404	»	»
Pétrole	7.000.982	156.586.883	6.978.403	156.557.756
Gaz naturel	»	76.664.000	»	72.520.000
Graphite (brut et raffiné)	1.450	473.462	1.771	243.476
Pyrites	109 957	1.849.260	95.526	1.476.300
Fer chromé	1.677	85.470	1.646	82.880
Minerai de manganèse	19.425	671.255	9.297	310.800
Minerai d'antimoine	771	264.180	771	212.380
Oxyde de cobalt	3.9	33.411	1.7	18.130
Bauxite	8.891	253.820	10.106	285.962
Soufre	1.656	283.605	1.219	139.238
Pierre à bâtir	»	230.973.610	»	207.200.000
Marne	113.400	336.700	99.792	284.900
Castine	4.633.416	10.865.568	3.810.375	11.655.000
Chaux	6.350.200	199.430.000	5.443.164	155.400.000
Ciment	»	37.051.245	»	32.808.234
Pierre meulière	»	1.578.864	41.350	1.791.866
Pierre à fusil	37.996	958.300	38.612	984.200
Pierre à meules	»	103.600	»	93.240
Pierres à aiguiser	»	557.264	»	548.691
Tripoli	1.200	217.301	1.550	242.424
Argile à poterie	457.349	5.180.000	399.327	4.299.400
A reporter		1.955.400.494		1.820.687.602

(*) Les chiffres de 1892, bien que déjà publiés l'an dernier (*Ann. des mines* 2e vol. de 1893, p. 364-365), sont donnés de nouveau ici, à raison des rectifications apportées à un certain nombre d'entre eux.

	1892		1893	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Report	.....	1.955.400.494	.....	1.820.687.602
Ardoise	»	21.590.887	»	18.316.480
Phosphate de chaux	917.257	17.208.069	997.140	17.791.694
Gypse	232.458	3.602.649	226.799	2.913.750
Borax	5.687	4.871.091	3.946	3.379.562
Soude naturelle	2.994	85.470	2.268	64.750
Sulfate de soude naturel	1.524	43.512	82	2.331
Barytine	25.833	737.528	24.161	689.769
Magnésite	1.272	50.837	1.037	41.470
Amiante	91	25.900	109	31.080
Talc fibreux	38.034	2.447.472	33.113	1.748.897
Stéatite	21.054	2.193.466	18.235	1.900.153
Mica	34	518.000	34	518.000
Feldspath	16.258	414.400	17.274	440.300
Spath-fluor	8.165	279.720	8.800	326.703
Onyx	»	207.200	»	148.925
Corindon	1.364	725.169	1.585	728.251
Pierres précieuses	»	973.840	»	1.036.000
Couleurs minérales	50.805	3.367.000	»	2.828.280
Rouge de Venise	3.815	462.755	3.473	422.040
Blanc de zinc	24.946	11.396.000	22.678	9.712.500
Couperose	12.021	571.209	14.515	494.379
Sulfate de cuivre	»	»	24.492	9.440.550
Sel	1.542.133	30.562.000	1.452.388	29.617.909
Brome	172	334.172	158	451.178
Total	.....	2.058.068.840	.....	1.923.732.523

Résumé des valeurs.	1892 Valeur en francs	1893 Valeur en francs
1° Métaux	1.661.435.412	1.386.726.378
2° Matières minérales indiquées	2.058.068.840	1.923.732.523
3° Substances diverses non-dénommées (estimation)	38.850.000	31.080.000
Total général	3.758.354.252	3.341.538.901

(*Extrait de* The mineral Industry, its statistics, technology and trade, *Vol. II.*)

NOTE

SUR LE

RÉGIME DE LA PROPRIÉTÉ ET DE L'EXPLOITATION DES MINES EN ANGLETERRE

D'APRÈS UNE ENQUÊTE RÉCENTE

Par M. L. AGUILLON, Inspecteur général des mines.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

En principe, ou *prima facie*, comme on dit en Angleterre, les substances minérales appartiennent dans ce pays au propriétaire de la surface. Le droit anglais applique encore une vieille maxime analogue à celle du droit romain : *cujus est solum, ejus est usque ad cœlum et deinde usque ad inferos.* Ce principe fondamental n'est soumis qu'à quelques exceptions, sans grande importance en fait.

La première concerne les mines d'or et d'argent qui sont réputées appartenir à la Couronne (*). Mais les « bas métaux » restent la propriété des particuliers, encore qu'ils contiennent de l'or ou de l'argent, sous réserve pour la Couronne d'un droit de préemption qui a toujours été nominal (**).

(*) Le domaine minier de la Couronne est administré par les *Commissioners of Woods and Forests* ou par l'Administration des bois et forêts.

(**) A la suite de sérieuses difficultés et de graves contesta-

La Couronne a également la propriété des mines de toute sorte sous les rivages de la mer et sous le lit des fleuves à marée, dans toute l'étendue que le plein flot peut atteindre.

La Couronne dispose aussi des mines de l'île de Man, sauf celles d'argile et de sable.

Des coutumes tout à fait spéciales existent dans la Forêt de Dean pour toutes les mines, et dans le district de Peak (comté de Derby) pour les mines de plomb; ces coutumes ont été consolidées par l'acte 1 et 2 Victoria, ch. 43 (1838) pour la Forêt de Dean, et par les actes 15 et 16 Victoria, ch. 163 (1852) et 14 et 15 Victoria, ch. 94 (1851) pour le Derbyshire.

Enfin le duché de Cornouailles a sur les mines de ce comté des droits spéciaux codifiés par l'acte 7 et 8 Victoria, ch. 105 (1844).

Nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement sur ces diverses exceptions et coutumes dont les applications ne laissent pas de prendre un intérêt spécial par la comparaison de leurs résultats avec ceux du régime normal.

Ainsi les gîtes minéraux sont, à quelques rares exceptions près, des propriétés privées de particuliers ou de corporations (*). Les propriétaires n'exploitent généralement pas eux-mêmes; ils consentent des *leases* ou

tions, les principes ci-dessus concernant l'or et l'argent, soit seuls, soit associés à d'autres métaux, ont été définitivement consacrés par une série de lois : 3 William et Mary, ch. XXX; 5 William et Mary, ch. VI; 55 George III, ch. CXXXIV.

(*) La plus vaste propriété minérale de l'Angleterre dépend de l'administration dite des *Ecclesiastical commissioners*, qui gère toute mine ressortissant à un bénéfice ecclésiastique. On jugera de l'importance de cette propriété, ou plutôt de ces propriétés, d'après les redevances qu'elles produisent : elles s'élèvent moyennement à 7.500.000 francs par an, dont les 2/3 environ proviennent de houillères dans le Durham. Le tiers de la production de ce bassin (11 millions sur 30 millions) sort de mines dépendant des *Ecclesiastical commissioners*.

baux (*) sous certaines conditions dont la plus essentielle et la plus fondamentale consiste dans le payement de redevances dites *royalties*. Il y a quelques années, une campagne assez active fut entreprise dans certains districts contre les conditions de ces *leases* et de ces *royalties*. L'honorable M. C. A. V. Conybeare, député de Camborne dans le Cornouailles, avait chaudement soutenu à la Chambre des communes les revendications des exploitants. Comme il arrive assez fréquemment en Angleterre dans de pareilles circonstances, le gouvernement chargea, en 1889, une *Commission royale*, c'est-à-dire une commission spécialement constituée dans ce but (**), de procéder à une enquête dont l'objet était ainsi défini dans l'acte du 19 août 1889 qui l'instituait : « rechercher le montant des sommes payées comme redevances (***) ou droits de passage (****) pour l'exploitation de la houille, du minerai de fer, de l'argile réfractaire (*****)

(*) En Angleterre, comme en France, pour nos amodiations de mines, ces *leases* ou baux n'ont de cet acte que le nom; ici comme là, on les considère et on les traite en véritables ventes partielles du gîte sur lequel elles portent.

(**) La Commission comprenait vingt et un membres, sans compter son secrétaire. Elle était présidée par le comte de Northbrook, membre de la Chambre des pairs, qui a été vice-roi des Indes de 1872 à 1876, et premier lord de l'Amirauté de 1880 à 1885. Elle comptait un autre pair, 7 membres de la Chambre des communes, la plupart plus ou moins intéressés dans les questions de mines, à titre d'agents, exploitants, ingénieurs, ou représentants des ouvriers, comme M. Thomas Burt, aujourd'hui sous-secrétaire d'État au *Board of Trade*; les autres membres étaient également des hommes notables dans les affaires de mines ou dans leur contentieux, ou versés dans les questions économiques, comme le professeur J. E. C. Munro, d'Owen's College, à Manchester. Les ouvriers comptaient un autre représentant en dehors de M. Thomas Burt.

(***) *Royalties* et *dead rents*, porte l'acte, en indiquant ainsi les deux formes des redevances dues pour exploitation.

(****) Ces redevances spéciales sont les *wayleaves*.

(*****) La houille, le minerai de fer en couches et l'argile réfrac-

et des substances métallifères soumises à la loi sur les mines métalliques de 1872, et leur influence économique sur l'industrie extractive du pays; rechercher en outre les clauses et conditions en vertu desquelles les mines sont exploitées dans l'Inde, aux colonies et dans les pays étrangers sous le régime des concessions et leurs conséquences économiques ».

La Commission a siégé jusqu'au 24 mars 1893, date à laquelle elle a remis son rapport final. Elle avait, avant ce dernier *blue book*, publié successivement quatre autres volumineux *blue-books* qui contiennent les longues dépositions des 140 témoins, anglais et étrangers, interrogés par la Commission sur tous les points de son mandat, ainsi que les documents divers qui complètent ces dépositions.

Laissant de côté ce qui se rapporte à la législation étrangère assez bien connue en France aujourd'hui, nous voudrions, au contraire, d'après les documents complets et absolument authentiques que nous fournit cette vaste et sûre investigation, résumer ici ce qui touche à la partie spéciale de l'exploitation des mines en Angleterre dont la Commission avait à s'occuper (*). Après l'exposé des faits, nous dirons les conclusions auxquelles elle est arrivée.

---

taire sont soumis, on le sait, au point de vue de la police des exploitations, à une législation commune constituée aujourd'hui par la loi de 1887 (voir *Annales des mines*, 1887, t. XII, p. 98) et qui est distincte de la législation des mines métalliques formée encore par la loi de 1872, dont la traduction a été publiée par les *Annales* (1873, part. adm., p. 11).

(*) Nous avons laissé de côté quelques particularités relatives à l'Ecosse, qui ne touchent qu'à des menues différences de législation locale tout à fait sans intérêt. Nous ne nous arrêterons pas non plus sur l'Irlande, dont la Commission s'est attentivement occupée; ces questions se rapportent à l'état général de l'île plus qu'à son industrie minérale qui est et paraît devoir rester sans importance.

I.

§ 1. — Royalties (*Redevances d'extraction*).

Mines de houille (*).

En Angleterre et dans le pays de Galles, la durée des baux varie habituellement de 21 à 63 ans; parfois cependant ils s'étendent à 99 ans; mais par contre aussi de petites houillères ne sont amodiées que pour l'année. En Écosse, les baux vont habituellement de 20 à 31 ans.

La durée varie avec les pouvoirs dont dispose le bailleur (**), l'étendue du champ et le nombre des couches.

Le droit d'extraire la houille est habituellement concédé moyennant une rente annuelle et une redevance (*royalty*) à payer en outre et au delà de la rente. La rente annuelle est dite rente fixe (*fixed rent*), rente morte (*dead rent*), rente certaine (*certain rent*) ou rente minimum (*minimum rent*).

Il n'y a pas de règle précise au sujet de la rente fixe; elle varie suivant les circonstances et la volonté des parties; elle est en rapport habituellement avec l'extraction probable; elle est généralement fixée entre 1 à 2 £ par acre (62f,50 à 125 francs par hectare), et exceptionnellement entre 2 et 5 £ (125 francs à 312f,50 par hectare).

Les *royalties* sont de trois sortes : 1° une somme déterminée à la tonne; 2° une somme déterminée par acre exploité; 3° une taxe variable avec le prix de vente du charbon.

(*) La houille étant, surtout depuis la baisse des métaux, le produit le plus important de l'industrie extractive en Angleterre, ce sont les mines de houille dont la situation a le plus spécialement occupé la Commission et qu'elle a eu plus particulièrement en vue dans ses conclusions.

(**) Certaines corporations ne peuvent pas, par exemple, consentir des baux de plus de vingt et un ans.

Dans le Northumberland, le Durham, le Cumberland, le Sud du pays de Galles et l'Écosse, la redevance à la tonne est généralement pratiquée, tantôt sur le total de l'extraction avec ou sans déduction pour la consommation de la mine, tantôt sur le total des ventes; tantôt enfin le taux varie suivant les sortes.

Dans le Lancashire, le Yorkshire et le Midland, la redevance est habituellement calculée sur la surface déhouillée; elle se détermine parfois à raison de l'épaisseur de la couche.

Dans le Staffordshire et le Nord du pays de Galles, la redevance est calculée tantôt à la surface, tantôt à la tonne.

Les redevances variables avec le prix étaient jadis très pratiquées en Écosse et ailleurs où elles semblent avoir succédé au type primitif dans lequel le propriétaire recevait la redevance en nature dans une proportion déterminée (*). Elles furent ensuite remplacées par des redevances à type fixe; elles ont reparu récemment à la suite de circonstances particulières. Des baux avaient été passés dans des périodes florissantes moyennant des redevances qui devinrent singulièrement lourdes lorsque les prix s'effondrèrent. Les propriétaires consentirent à réduire les bases stipulées, mais à la condition de bénéficier des hausses qui pourraient survenir.

Le type le plus habituel est un accroissement du douzième, par accroissement du prix sur le carreau de la mine (**) entre un minimum et un maximum déterminés.

Les échelles mobiles ont été adoptées dans beaucoup de baux nouveaux du Northumberland, du Durham, de

(*) On sait que les redevances tréfoncières proportionnelles de la Loire sont, en principe, des redevances en nature que l'usage transforme en redevance à la tonne.

(**) 0f,05 d'accroissement de redevance à la tonne par 0f,60 d'accroissement dans le prix de vente sur le carreau.

l'Écosse et du Sud du pays de Galles. Ailleurs on ne les rencontre qu'exceptionnellement.

Le taux effectif des *royalties* varie naturellement pour chaque mine, avec les circonstances qui lui sont propres, épaisseur des couches, qualité du charbon, facilités d'extraction et d'expédition, et avec la situation commerciale au moment du contrat. La Commission a cru pouvoir résumer sa longue enquête sur ce point dans les données du tableau suivant qui indique, par bassin, et en dehors d'exceptions tout à fait spéciales, la redevance par tonne payée au maximum, au minimum et en moyenne.

NOMS DES BASSINS	MAXIMUM	MINIMUM	MOYENNE
	francs	francs	francs
Northumberland	1,00	0,25	0,40
Durham	1,00	0,25	0,50
Cumberland	0,80	0,30	0,60
Westmoreland			
Lancashire	»	»	0,60
Cheshire			
Yorkshire	»	»	0,60
Staffordshire-Nord	»	»	0,55
Cannock-Chase			
Staffordshire-Sud			
Warwickshire	0,80	0,30	0,60
Worcestershire			
Derbyshire			
Nottinghamshire	0,60	0,40	0,475
Leicestershire			
Shropshire	»	»	0,60
Somersetshire	0,90	0,50	0,60
Gloucestershire. Bristol	»	»	0,60
Gloucestershire. Forêt de Dean	»	»	0,30
Monmouthshire et South-Wales	0,90	0,40	0,60
Nord du Pays de Galles	1,00	»	0,40
Ecosse-Ouest	1,30	0,40	0,70
Fife et Lothians	1,20	0,30	0,60

Lorsque le montant dû à titre de *royalty* sur l'extraction est moindre pour l'année que la rente fixée, la différence ou déficit est qualifiée de *shorts;* généralement l'amodiataire peut retenir ce déficit sur les dépassements ou différences en sens contraire des années suivantes. Cette faculté est parfois limitée à des périodes déterminées du bail; mais, dans plusieurs districts, elle s'étend à sa totalité. Parfois les déficits sont recouvrés dans le

bail subséquent s'il est consenti au même amodiataire. Dans le Monmouthshire et le South-Wales, les baux donnent généralement à l'amodiataire la faculté de recouvrer le déficit d'une année pendant les trois ou cinq années suivantes; quelques baux récents contiennent une clause divisant la durée du bail en périodes de trois à cinq ans durant lesquelles est limitée la faculté de recouvrer les déficits antérieurs; quelquefois les déficits se recouvrent pendant toute la durée du bail.

Il n'y a pas d'usages déterminés au sujet du payement des *royalties* pour le charbon nécessaire au service de la mine; c'est une question d'espèce. Dans les districts où la *royalty* a la forme d'une redevance à la surface, il n'y a habituellement de ce chef aucune réduction; dans les districts où la *royalty* se règle à la tonne, il est d'usage soit de ne pas la payer pour le charbon consommé par la mine, soit de déduire, franc de toute redevance, un certain pourcentage qui varie suivant les circonstances.

Les baux dans le Nord de l'Angleterre et le South-Wales donnent généralement la faculté de résiliation à la fin de chaque année, moyennant préavis de douze mois; dans quelques cas, plus fréquents avec les anciens baux, la résiliation ne peut s'exercer qu'à des périodes déterminées à l'avance. En Lancashire, Cheshire, Yorkshire et dans les Midlands, quelques baux donnent la faculté de résilier lorsque tout le charbon est extrait ou a été payé ou lorsqu'il devient inexploitable. Dans presque tous les baux récents du Yorkshire et des Midlands, la *royalty* cesse lorsqu'on a payé pour tout le charbon. La résiliation est assujettie à certaines conditions telles que le payement des rentes dues, l'accomplissement des conventions faites, ou, à défaut, le payement d'indemnités appropriées; dans quelques cas, en South-Wales, on doit faire la preuve de l'épuisement du gîte ou de son inexploitabilité.

En ce qui concerne la cession des baux, il est généralement prévu que l'amodiataire ne peut transférer son droit sans le consentement écrit du bailleur, bien que, dans ces dernières années, la clause ait été complétée par la stipulation que le consentement ne pouvait être refusé sans motif raisonnable (*).

Presque tous les baux prévoient la déchéance en cas d'inobservation des conditions du bail ou à défaut de payement de la rente aux époques fixées; il n'y a pas de clauses spéciales à certains districts sur ce sujet. Dans les baux les plus récents, la rigueur de ces dispositions est souvent tempérée par une stipulation qui suspend la déchéance dans le cas où l'inobservation de quelque clause du bail peut se compenser avec une indemnité appropriée dont le montant est souvent laissé à un arbitrage; d'après quelques baux, la déchéance ne peut être appliquée que lorsque le rappel à l'observation du bail a fait l'objet d'une mise en demeure par écrit.

Les bâtiments d'exploitation sont toujours établis par l'amodiataire, et à la fin du bail ils deviennent généralement la propriété du bailleur sans qu'il ait aucune indemnité à payer. Dans le Sud Staffordshire, les amodiataires, en beaucoup de cas, peuvent enlever les installations, à l'exception des maisons d'habitation et des écuries, si le bailleur ne préfère pas les acquérir suivant estimation. Les amodiataires sont généralement tenus de laisser les bâtiments et autres installations permanentes en bon état d'entretien, le bailleur ayant le droit d'acheter l'outillage et le matériel mobile. En Écosse, il est habituellement stipulé que l'amodiataire doit enlever toutes les

(*) Le cédant impose généralement au cessionnaire une nouvelle redevance ou *royalty* à son profit; elle s'ajoute à celle due au propriétaire; aussi ne peut-il y avoir de cession que lorsque cette dernière *royalty* est faible et que la durée du bail est longue.

constructions à la fin du bail, le propriétaire ayant toutefois le droit de les prendre à estimation.

A la suite du régime normal de l'Angleterre, il est intéressant de mentionner les coutumes spéciales qui régissent le district de la Forêt de Dean. On y exploite principalement de la houille et du minerai de fer (*); mais le régime que nous allons signaler s'applique à toutes les substances minérales.

Toutes les substances minérales de ce district ne peuvent être exploitées qu'au moyen de concessions, dites *gales*, qui ne peuvent être octroyées qu'aux *free miners*. Ils comprennent tous les hommes de plus de 21 ans nés dans la centurie (*hundred*) de Saint-Briavels et ayant travaillé un an et un jour dans une mine. Lorsque ces conditions ont été remplies, ils ont le droit de se faire enregistrer comme *free miners* (**) et d'obtenir, à la priorité de la demande et sur les points par eux choisis, jusqu'à trois concessions, ou *gales*, par mineur.

La concession est accordée à perpétuité, moyennant le payement d'une redevance.

L'étendue de chaque *gale* est déterminée par les agents, le *gaveller* et son adjoint le *deputy gaveller*, auxquels est confiée l'administration du district à ce point de vue. En principe, chaque *gale* doit pouvoir être exploitée isolément et, par suite, sa surface varie suivant les conditions du gisement; peu étendue aux affleurements (100 acres ou 40 hectares), elle atteint 2.000 acres (800 hectares) dans les parties les plus profondes.

En principe, la Couronne doit percevoir comme redevance le cinquième du revenu brut, c'est-à-dire du produit, sans déduction pour l'intérêt et l'amortissement, des capitaux engagés dans l'ouverture de la mine, mais avec déduction de ceux nécessaires pour l'outillage et le matériel.

(*) Extraction en 1892 :

Houille.	800.000 tonnes.
Minerai de fer.	50.000 —

(**) Le nombre des *free miners* enregistrés est de 2.262 pour la houille et le fer et 270 pour les carrières; sur ces nombres, il y en a respectivement 1.390 et 100 actuellement vivants.

C'est la transformation d'un antique droit reconnu à la Couronne de mettre à son profit exclusif un cinquième ouvrier (*to put in a fith man*) dans toute mine après son ouverture, et, par suite, sans avoir à supporter les frais de cette ouverture.

En fait, cette redevance théorique est transformée en une *royalty* ou taxe par tonne que fixent les représentants de l'administration, mais avec le droit pour le concessionnaire de la déférer à un arbitrage.

La redevance est fixée pour vingt et un ans; elle peut être revisée après cette période, à la demande de l'une ou l'autre partie.

Il est rare que le *free miner* soit en état d'exploiter lui-même; c'est impossible dans les parties profondes. Aussi vend-il immédiatement sa concession parfois à des spéculateurs, parfois aux compagnies qui exploitent effectivement (*). Il ne paraît pas que les *free miners* aient jamais tiré des profits sensibles des droits qui leur appartiennent; à de rares exceptions près, ils sont restés de simples ouvriers travaillant en cette qualité dans les concessions qui ont été leurs propriétés.

On s'accorde à attribuer au régime spécial de la Forêt de Dean la fâcheuse situation de ce bassin houiller par rapport aux autres. Il est certain que son développement est beaucoup plus lent. Toutefois on ne donne pas de

(*) En 1889, on comptait 176 *gales* ou concessions en activité réunies dans 44 exploitations effectives de houilles et 16 de fer. Il y avait, en outre, 132 *gales* non exploitées, le *free miner* étant parfaitement libre de ne pas exploiter pourvu qu'il paye sa redevance minimum.

raison bien plausible qui relie cet état de choses avec les droits des *free miners*.

Il est à remarquer notamment que la redevance payée à la Couronne pour la houille ressort en moyenne à 0f,30 par tonne, ce qui est un taux notablement inférieur à celui des autres bassins, comme le montre le tableau de la page 471.

Mines de fer.

On distingue en Angleterre, au point de vue légal, trois catégories de minerais de fer :

1° Le minerai (*ironstone*) extrait d'exploitations assujetties à la loi sur les mines de houille ;

2° Le minerai (*ironstone*) provenant de fouilles qui ne sont assujetties à aucune loi spéciale ;

3° Le minerai (*iron ore*) sorti d'exploitations soumises à la loi sur les mines métalliques.

La première catégorie comprend le carbonate des houillères exploité en Écosse, dans le Pays de Galles et le Midland, et le minerai du Cleveland ; les trois quarts des minerais de la première catégorie appartiennent à cette dernière provenance.

La deuxième catégorie porte sur la limonite exploitée à ciel ouvert dans le Lancashire, le Northamptonshire, le Leicestershire et le Rutland.

Dans la dernière catégorie se trouvent les hématites du Cumberland et du Lancashire, celles de la Forêt de Dean et du comté d'Antrim (Irlande).

Pour 1889, l'extraction de ces diverses catégories était :

Limonite	3.592.305 tonnes.
Hématite.	2.773.971 —
Carbonate (avec le Cleveland). . .	8.169.829 —
	14.536.105 tonnes.

Dans le Cleveland, qui constitue donc le district ferrifère le plus important, la longueur habituelle des baux est de quarante-deux ans ; la rente fixe (*fixed rent*) varie avec les conditions de la mine ; la *royalty* est habituellement d'une somme fixe par tonne comprenant les droits de passage (*wayleaves*) et autres dus au propriétaire ; elle se monte en moyenne à 0f,60 par tonne ; les conditions des baux sont semblables à celles des baux du bassin houiller du nord de l'Angleterre.

On peut en dire de même pour toutes les autres exploitations de minerais de fer en couches, tant de la première que de la deuxième catégorie, en Écosse et en Angleterre. Quelquefois cependant, en Angleterre, on trouve des baux de quatre-vingt-dix-neuf ans. Dans quelques districts, on commence à introduire une échelle mobile des redevances ; en Écosse notamment, la redevance, en beaucoup de cas, varie actuellement avec le prix de la fonte ou le prix du minerai sur le carreau de la mine ; l'accroissement de la redevance dans ce dernier cas étant de 1/6 à 1/12 de celui du prix.

A raison de l'incertitude et des irrégularités des gîtes de la troisième sorte, l'usage est que le propriétaire donne à des explorateurs des permis dits *take-notes*, pour rechercher tout d'abord le minerai et leur assurer le droit à un bail dans le cas où ils désireraient exploiter. La durée habituelle des baux est de vingt et un ans. La rente fixe varie considérablement ; elle est réglée d'après l'extraction probable. La *royalty* est toujours fixée à un taux variable avec le prix du minerai vendu ou prêt pour la vente, le taux par tonne allant de 4f,65 à 0f,60 (*).

(*) Voici l'exemple d'une échelle de prix :

Au-dessous de	11f,25,	redevance de	1f,00 par tonne.
—	11f,25 à 12f,50,		1f,35 —
—	à 12f,50,	—	1f,65 —
—	12f,50 à 13f,75,	—	1f,95 —

Le *déficit* (*shorts*) (*) ne peut être recouvré en Cumberland que dans des périodes déterminées de trois ans au plus; à Furness, la faculté s'étend à toute la durée du bail. Les amodiataires peuvent résilier moyennant un préavis d'un an; cette faculté est toutefois limitée à certaines périodes. Les mines sont généralement épuisées à la fin des baux; mais il est stipulé en Cumberland que lorsqu'un bail est renouvelé au même amodiataire, le propriétaire ne se prévaut pas des installations devenues sa propriété et le déficit (*shorts*) est généralement reporté au nouveau bail.

Le minerai de fer est exploité dans la Forêt de Dean dans les mêmes conditions que la houille.

Mines métalliques (**).

Les conditions pour l'exploitation du plomb ressemblent beaucoup à celles pour l'exploitation du minerai de fer de la troisième catégorie. On donne des permis ou *take-notes* pour faire des recherches; la longueur des baux pour l'exploitation, si les recherches ont abouti, est habituellement de trente et un ans; mais les commissaires ecclésiastiques (*) donnent soixante ans dans le Durham; les rentes fixes sont faibles et les redevances déterminées par échelles mobiles avec le prix de vente du minerai. Les taux effectifs diffèrent considérablement à raison des teneurs du minerai en argent. La mine *Great Laxey*, dans l'île de Man (**), qui donne du plomb argentifère, paie 1/10; les autres mines de l'île (**), 1/12 à 1/20. Ailleurs, les *royalties* varient de 1/10 à 1/20 du prix de vente.

Au-dessous de	13f,75 à 15f,00,	redevance de	2f,05	par tonne.
—	15f,00 à 16f,25,	—	2f,30	—
—	16f,25 à 17f,50,	—	2f,50	—
—	17f,50 à 18f,75,	—	2f,80	—
—	18f,75 à 20f,00,	—	3f,00	—
—	20f,00 à 21f,25,	—	3f,30	—
—	21f,25 à 22f,50,	—	3f,50	—
—	22f,50 à 23f,75,	—	3f,85	—
—	23f,75 à 25f,00,	—	4f,05	—
—	25f,00 à 26f,25,	—	4f,15	—

Au delà, 0f,025 de redevance en plus par 1f,25 d'accroissement dans le prix.

(*) Nous rappelons que le déficit (*shorts*) est la différence entre la *royalty* et la rente annuelle minimum.

(**) Nous laissons de côté ce qui concerne l'or et les droits spéciaux de la Couronne (voir p. 465). Il y a quelques années, on fit beaucoup de bruit autour de mines d'or dans le nord du Pays de Galles. La commission a montré que la *Morgan Mine* paraît n'avoir été qu'une exploitation tentée sur le public et qui n'a pas eu de suite faute de substance minérale. En fait, l'extraction de l'or a été, est et paraît devoir être toujours si faible qu'on peut se dispenser d'en parler.

Des coutumes spéciales, codifiées par des actes du Parlement, régissent l'exploitation du plomb du district de *King's Field* dans le Derbyshire. Tout individu a le droit de recherche et d'exploitation sous le contrôle d'un fonctionnaire spécial, le *Barmaster*, et sans avoir de redevance à payer au propriétaire de la surface. La redevance bénéficie au duché de Lancastre; elle consiste dans une attribution, dite *lot*, de 1/30 à 1/25 du produit marchand et dans une redevance, dite *cope*, de 0f,60 à 0f,40 par charge dudit produit. Cette redevance devait correspondre à environ 1/20 du prix de vente du minerai extrait. Cette industrie, par suite de la concurrence étrangère et de l'épuisement des meilleures mines, est tombée à presque rien.

Tandis que, dans le district de Wirksworth, il y avait autrefois 170 exploitations occupant 500 ouvriers, il n'y en a plus que 20 avec 70 à 80 ouvriers. En 1889, le duché de Lancastre n'a rien perçu dans ce district, et

(*) Voir note (*), p. 466.

(**) Ces mines de l'île de Man appartiennent à la Couronne (voir p. 466).

dans celui de High-Peak, les *royalties* n'ont été que de 5.250 francs.

Les principales mines en activité dans le Derbyshire ne sont plus dans le district de King's-Field. La plus importante d'entre elles, celle de Mill-Close, qui extrait 75 tonnes par semaine, est une propriété privée qui a été acquise par les exploitants.

L'enquête a été plus spécialement approfondie sur les mines du Cornouailles et du Devonshire. Il y existe des coutumes qui sont propres à ces districts et même une législation particulière. C'est dans ces districts qu'en 1885, à la suite d'une discussion fameuse entre exploitant et propriétaire (*), des exploitants soulevèrent une vive agitation en faveur des garanties qu'ils réclamaient pour leurs entreprises.

Par suite de la baisse des métaux, ce district, jadis classique, est, il est vrai, bien déchu de son antique splendeur. De 600 le nombre des mines en exploitation est tombé à 100, et celui des ouvriers de 40.000 à 12.000 (**). L'exploitation du plomb est entièrement abandonnée; peu de mines de cuivre sont en activité; et nombreuses sont les mines d'étain travaillant à perte.

Un vieil usage y a fixé à vingt et un ans la durée des baux de mines, ce qui est jugé tout à fait insuffisant; retour gratuit au propriétaire de toutes les constructions établies par l'exploitant. Il est vrai que le renouvellement des baux est de coutume générale, et se fait habituellement dans de bonnes conditions, à moins que la mine ait été exploitée d'une manière irrégulière, contraire aux règles de la matière (*in an unminer-like manner*). Toutefois, le renouvellement n'est pas un droit; l'aventure de la mine

(*) Au sujet du renouvellement du bail de la mine Dolcoath.

(**) Les ouvriers de ce district émigrent facilement aux colonies.

Dolcoath, qui faillit mettre le feu aux poudres, en 1885, dans le monde des mines d'Angleterre, l'a bien prouvé; en tout cas, le renouvellement d'un bail ne va pas sans le payement d'une indemnité plus ou moins forte au propriétaire (*).

La rente fixe ou *minimum* ainsi qu'elle est désignée dans ce district, est généralement très basse; la *royalty* consiste dans une proportion déterminée de la valeur des minerais vendus, de 1/15 et au-dessous. Elle est parfois fixée d'après une échelle mobile, avec un minimum au-dessus duquel elle croît proportionnellement lorsque le prix de vente dépasse une certaine quotité. Il est avéré que les propriétaires ont consenti de larges réductions avec la décadence de l'industrie, et l'on admet qu'en fait il n'y a pas de mines travaillant à perte qui aient de redevances à payer. On cite, dans le Devonshire, le duc de Bedford, l'un des principaux propriétaires (**) qui, en 1889, n'avait rien touché depuis trois ans.

Diverses particularités sont à relever dans les baux de ce district.

La plupart d'entre eux stipulent que l'on exploitera dans le système du *Cost-Book* (***). La mine doit être exploitée de la façon accoutumée ou conformément aux

(*) Le renouvellement de la mine de Dolcoath ne fut consenti que moyennant une *épingle* de 625.000 francs.

(**) Le duc de Bedford est notamment propriétaire de *Devon great Consols* et de *Bedford United Mines*.

(***) Le *Cost-book system* est un genre de société qui rappelle la *Gewerkschaft* du droit allemand. La société est à capital ouvert ou indéfiniment responsable; chaque associé est tenu, pour sa part, des nouveaux fonds réclamés ou dus. Mais il peut se retirer à toute époque en cédant sa part et il est dégagé pour l'avenir.

On discute vivement la question de savoir si le *Cost-book system* vaut plus ou moins, pour l'exploitation des mines et surtout des mines métalliques, que le type ordinaire de la société à responsabilité limitée.

La Commission s'est abstenue de se prononcer.

règles de l'art des mines (*customary or miner-like manner*). Parfois des clauses spéciales sont fixées pour les machines, puits et galeries. Le propriétaire a le droit d'inspecter les comptes. L'amodiataire est généralement tenu à payer au propriétaire 6.250 francs par hectare pour le terrain cultivé que des travaux endommagent, en outre de l'indemnité due au tenancier ou fermier, et 2.500 francs par hectare pour les terrains non cultivés; les terrains font toujours retour au propriétaire en fin de bail. Le payement peut être différé jusqu'à cette époque, sauf à servir l'intérêt; exceptionnellement le montant de l'indemnité pour occupation est fixé par arbitres. L'amodiataire peut toujours résilier avec préavis de six mois, le propriétaire pouvant réclamer le matériel à dire d'experts.

§ 2. — Droits de passage (*Wayleaves*).

La *royalty* et la *fixed rent* qui la complète représentent essentiellement les droits à payer pour l'extraction directe; mais, pour pouvoir sortir ses produits du champ où il a le droit de l'abattre, l'exploitant anglais doit fréquemment acquérir des servitudes, des *easements*, suivant le mot consacré, et il doit payer pour cela d'autres redevances appelées *Wayleaves*.

Ce mot veut dire exactement « la faculté d'établir un chemin et de s'en servir ou simplement la faculté de se servir d'un chemin ». Il implique la permission du propriétaire des terrains à travers ou sur lesquels il faut passer, permission pour laquelle ce propriétaire pourrait demander un prix excessif, voir même prohibitif, puisqu'il peut refuser le passage.

L'expression est généralement sinon même exclusivement employée pour les chemins miniers, c'est-à-dire pour les voies nécessaires à la sortie des produits ou autres services des mines.

On distingue les *wayleaves* souterrains et les *wayleaves* de surface.

Les *wayleaves* souterrains ont pour objet de permettre le transport des substances minérales à travers des propriétés qui ne sont pas comprises dans celles sur lesquelles on a le droit d'exploiter. L'indemnité payée de ce chef consiste habituellement dans une redevance à la tonne transportée; dans quelques districts de l'Angleterre, l'indemnité est calculée d'après la surface de la houille transportée ou consiste dans une rente annuelle indépendante des quantités actuellement transportées.

Les *wayleaves* de surface permettent de convoyer les substances minérales hors de la propriété où elles ont été abattues et extraites au jour jusqu'à un chemin de fer ou à un port d'embarquement. Généralement on établit dans ce but des chemins de fer privés de courte longueur; toutefois, dans le Northumberland et le Durham, on a construit à cet effet des lignes ayant jusqu'à 25 kilomètres de développement dites : *private wayleaves lines* (*lignes privées de permission*).

Les *wayleaves* de surface sont accordées par les propriétaires superficiaires sous diverses formes. Parfois l'exploitant doit acheter les terrains nécessaires; parfois la servitude est acquise par le payement d'une rente annuelle fixe, mais le plus généralement par le payement d'une redevance à la tonne transportée.

Si dans certains districts, notamment dans le Durham, il semble qu'un accord raisonnable se soit produit entre exploitants et propriétaires intéressés sur les *wayleaves* comme sur les *royalties*, il en est d'autres, au contraire, où les réclamations des exploitants ont été particulièrement vives. Dans divers cas, on a dû renoncer à l'exploitation de certains quartiers ou payer des sommes déraisonnables; on a cité une espèce où le droit de passage donne lieu à une indemnité annuelle du double de la

valeur du terrain en capital, c'est-à-dire 40 à 50 fois plus forte que que le dommage causé.

Outre les *wayleaves* de surface, un exploitant peut avoir à payer une rente supplémentaire au propriétaire du terrain dans lequel est ouvert le puits d'extraction, si des produits qui n'appartiennent pas à ce propriétaire, généralement nommés *produits étrangers*, sont extraits par ce puits et transportés sur la surface de ladite propriété.

En dehors des véritables *wayleaves* pour le sortage des produits, l'exploitant peut avoir à acquérir d'autres avantages, servitudes ou *easements*, pour lesquels il paiera des redevances distinctes, analogues aux précédentes, notamment pour l'écoulement des eaux ou l'aérage.

On estime, dans le Northumberland, le Monmouthshire et le sud du pays de Galles, à un tiers environ la partie de la houille extraite (*) soumise à un payement pour *wayleave*; dans le Durham (*), à la moitié; dans le Yorkshire (*), à un quart. Dans le reste de l'Angleterre, on ne paye qu'exceptionnellement de pareilles servitudes. Pour tout le Royaume-Uni, on estimait, en 1889, à 41 millions de tonnes environ, soit à un quart de la production totale, la quantité de houille soumise à de telles redevances.

§ 3. — Résumé.

Si on totalise, avec la Commission, le total des charges incombant aux exploitants du fait des *royalties* et

(*) Extraction en 1892 :

Northumberland	9.500.000 tonnes.
Monmouthshire	7.500.000 —
Sud du Pays de Galles	23.000.000 —
Durham	24.000.000 —
Yorkshire	23.000.000 —

wayleaves, on arrive, en 1889, pour la houille, aux résultats suivants :

	EXTRACTION	ROYALTIES	WAYLEAVES	TOTAL
	tonnes	francs	francs	francs
Angleterre et Pays de Galles	153.596.360	85.000.000	4.700.000	89.700.000
Écosse	23.217.163	15.750.000	350.000	16.100.000
Irlande	103.201	100.000	»	»
Total	176.916.724	100.850.000	5.050.000	105.800.000

Par rapport au prix du charbon sur le carreau de la mine, on estime que la *royalty*, en 1888, année de prix très bas, représentait de 6 à 10 p. 100 de la valeur en Angleterre, et de 10 à 14 p. 100 en Écosse; en 1889, où les prix s'étaient relevés, la *royalty* pouvait être de 5 à 9 p. 100 de la valeur en Angleterre, et de 9 à 11 p. 100 en Écosse.

Les évaluations pour le minerai de fer, en 1889, peuvent être estimées comme suit :

	EXTRACTION	ROYALTIES	WAYLEAVES	TOTAL
	tonnes	francs	francs	francs
Angleterre et Pays de Galles	13.319.685	13.000.000	350.000	13.350.000
Écosse	1.061.734	850.000	20.000	870.000
Irlande	164.686	50.000	»	50.000
Total	14.546.105	13 900.000	370 000	14.270.000

Pour les autres métaux, les évaluations seraient :

Cuivre et étain dans le Devonshire et le Cornouailles	1.000.000 fr.
Plomb, zinc, etc.	750 000
Or	37.000
Autres métaux	375.000
Total	2.162.000 fr.

Dans toutes les évaluations qui précèdent, sont com-

prises les *royalties* qui correspondraient aux produits extraits par les propriétaires eux-mêmes.

Pour l'ensemble des mines, on arrive donc, comme redevances diverses payées aux propriétaires de la surface en 1889 :

En ce qui concerne les mines de houille. . .	105.900.000 fr.
— — de fer.	14.270.000
— — métalliques. . .	2.162.000
Total.	122.332.000 fr.

Il n'est pas sans intérêt de rapprocher ce total du revenu de l'ensemble des mines anglaises tel qu'il résulte des évaluations pour la perception de l'*income tax*, ou impôt sur le revenu, que les exploitants anglais ont à supporter.

Le tableau suivant donne ces renseignements pour la période de 1875 à 1889, d'après les données de l'administration de l'*income tax*.

ANNÉES	NOMBRE des mines	REVENU taxé (*)	ANNÉES	NOMBRE des mines	REVENU taxé (*)
		francs			francs
1875-76	3.000	365 000.000	1882-83	2.500	167.500 000
1876-77	3.000	350.000.000	1883-84	2.400	175.000.000
1877-78	3.000	322.500.000	1884-85	2.300	185.000.000
1878-79	2.500	250.000 000	1885-86	2.300	187.500.000
1879-80	2.500	187.500.000	1886-87	2.200	187.500.000
1880-81	2.500	167.500.000	1887-88	2.200	177.500.000
1881-82	2.500	167.500.000	1888-89	2.200	182.500.000

(*) Non déduit les *royalties* et *wayleaves* pour lesquels les exploitants font l'avance de l'income tax qui reste à la charge des propriétaires.

Le développement de l'exploitation des mines en Angleterre sous le régime si compliqué et si lourd que nous venons de préciser, avec ces baux de courte durée, ces redevances et ces servitudes de toutes sortes, est d'autant plus à remarquer que la division de la propriété est, en fait, dans bien des districts, plus grande qu'on ne le

croit communément. L'exploitant, qui veut constituer une entreprise de quelque importance, ne laisse pas d'avoir à traiter avec d'assez nombreux intéressés dont les propriétés sont morcelées en parcelles assez enchevêtrées. Ainsi, une des compagnies minières et métallurgiques des plus importantes de l'Angleterre, *the Wigan Coal and Iron Company*, extrait annuellement 2 millions de tonnes d'un domaine de 5.486 hectares d'étendue qu'elle n'a pu constituer qu'en passant 171 baux avec des propriétaires différents. Sur ces 171 baux, 72 constituent ce qu'on nomme des *purchasing leases;* ce sont des conventions relatives à de petites parcelles de 1/6 d'hectare à 2 hectares, pour lesquelles la compagnie achète le tréfonds, ou plus exactement le droit d'y exploiter pour un nombre d'années déterminé, moyennant une somme en capital une fois payée.

Cette situation peut se compliquer d'autant plus qu'il arrive fréquemment que, pour un même terrain, la propriété de la mine, à la suite de circonstances diverses, se trouve séparée de la propriété du sol ou de la jouissance du sol (*), et, suivant les multiples conditions (*) d'après lesquelles s'est effectuée cette séparation, les droits du propriétaire ou du possesseur de la surface sont de nature et de portée très différentes, en ce qui concerne l'exploitation de la mine qui appartient à un autre. Le droit du possesseur de la surface peut aller, dans certains cas, jusqu'à faire arrêter une exploitation suceptible de produire des dommages à la surface. Dans d'autres cas, outre la réparation du dommage matériel, le superficiaire peut demander et obtenir, à titre de *wayleave*, une rede-

(*) Voir dans notre *Traité de législation*, t. III, nos 1246 et 1247, ce que nous avons dit à ce sujet sur les droits respectifs des *Copyholders* et du *Lord du manoir*, ou encore ce qui concerne les *Commons* ou *Wastes* et ce *Lord*.

vance soit annuelle, soit à la tonne, pour tout produit roulé ou extrait dans, sur ou sous son terrain.

II.

Arrivant à la discussion (*) des renseignements et documents réunis dans ses longues recherches, la Commission a tout de suite écarté une objection faite au système anglais à raison d'investisons importants qu'il faut laisser entre les mines voisines et par suite des pertes relativement graves qui en résultent, pour la houille notamment. La situation est, en effet, la même, a fait observer la Commission, avec tous les régimes de propriété de mines.

A un point de vue plus général et plus élevé, il n'a pas paru à la Commission que le système des *royalties*, en ce qui concerne leur quotité, ait jamais arrêté ou restreint, en quoi que ce soit, le développement de l'industrie extractive de la Grande-Bretagne. La preuve en est notamment, pour la houille, dans la progression constante de la production qui, dans les dix années 1880-1891, a passé de 146.818.622 à 185.479.126 tonnes, soit avec un accroissement de 25 p. 100(**); la situation ne le cède en rien à celle des autres pays.

L'intérêt, bien compris, des propriétaires a toujours suffi pour les amener à s'entendre avec un exploitant et éviter ainsi tout délaissement de gîte effectivement exploitable (***). Les exploitants n'ont d'ailleurs pas présenté de

(*) La Commission, dans sa discussion, s'est plus spécialement occupée de la houille.

(**) Pendant la même période les accroissements ont été de 16 p. 100 pour la Belgique, de 35 p. 100 pour la France, de 56 p. 100 pour l'Allemagne et de 100 p. 100 pour les États-Unis de l'Amérique du Nord.

(***) Il y a quelques rares exceptions pour ces cas de *Copyholders* qui ont le droit aujourd'hui de faire arrêter les travaux de la mine appartenant à un autre propriétaire.

plaintes sérieuses (*) contre le montant de leurs *royalties*, et la Commission n'a nullement cru devoir appuyer leur transformation en redevances sur le produit net, ainsi que quelques-uns l'avaient réclamé lors de la campagne Conybeare.

La commission est restée convaincue qu'une réduction des redevances actuelles ne bénéficierait aux consommateurs que dans les périodes d'affaissement des cours. Dans celles de hauts prix, l'exploitant profiterait seul, à la charge du public, de la réduction du prix de revient pour autant, il est vrai, qu'il n'eût pas à compter avec les réclamations des ouvriers.

La Commission s'est, d'autre part, spécialement préoccupée, à ce point de vue, de l'influence que les *royalties* pouvaient avoir sur les salaires et des avantages qui pourraient résulter de leur réduction ou même de leur disparition, notamment dans les houillères où les réclamations des ouvriers, par leur nombre et surtout leurs associations, prennent, en Angleterre, comme en bien d'autres pays, une importance prépondérante.

On sait que, dans tous les districts houillers d'Angleterre, les salaires, par suite de combinaisons diverses, qui ne vont pas sans des grèves retentissantes, varient en principe aujourd'hui, d'une façon plus ou moins grossière, avec les prix des charbons (**), sans que les ou-

(*) Des ingénieurs autorisés, comme M. Thomas Forster Brown, de Cardiff, ont même soutenu que la *royalty*, avec ses variations par mine, rétablissait l'équilibre dans la lutte économique entre exploitants d'un même district. Cette opinion n'a pas laissé d'être considérée comme quelque peu paradoxale par d'autres industriels non moins autorisés, tels que sir Lowthian Bell. La Commission, nous le verrons, n'est pas éloignée de partager les idées de M. Brown.

(**) Il nous a paru qu'il ne serait pas sans intérêt, à raison de l'authenticité que leur donne l'autorité de la Commission, de

vriers admettent, toutefois, que leurs salaires puissent descendre au-dessous d'un certain minimum.

En l'état actuel, la Commission a déduit de ses recherches que les salaires entrent pour 50 à 60 p. 100 dans

---

mentionner le montant et la décomposition des divers prix de revient indiqués par elle pour divers époques.

Aux mines *Arley* et *Yard*, deux exploitations importantes du Lancashire, on a relevé pour chacun des deux derniers semestres de 1880 et 1889 :

	ARLEY		YARD	
	2e semestre 1880	2e semestre 1889	2e semestre 1880	2e semestre 1889
	fr.	fr.	fr.	fr.
Prix moyen de vente par tonne.	6,18	8,01	6,02	8,25
Prix de revient total par tonne.	6,80	7,185	7,07	7,23
Perte par tonne.	0,62 (ou 10 %)	»	1,05 (ou 13,4 %)	»
Gain par tonne	»	0,825 (ou 10,3 %)	»	1,03 (ou 12,3 %)
Décomposition du prix de revient.				
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Salaires du fond	46,3	60,4	51,7	64,3
Salaires du jour.	6,7		6,6	
Dépenses diverses	37,1	30,2	32,1	26,7
Royalty.	9,9	9,4	9,6	9,0
	100,0	100,0	100,0	100,0

Comme exemple de la décomposition des dépenses classées sous la rubrique « *diverses* », on a donné pour celles du deuxième semestre de 1889 d'*Arley*, montant à 30,2 pour 100 du total du prix de revient :

Matières diverses.	8,2 pour 100.
Charbon pour chaudières.	4,0 —
Roulage par locomotives	3,4 —
Roulage par chevaux	0,3 —
Frais généraux.	5,4 —
Amortissement.	6,8 —
Direction (traitements)	2,1 —
Total	30,2 pour 100.

Voici, pour le Pays de Galles, des renseignements donnés dans la même forme pour des périodes comparables :

le prix de vente du charbon en Angleterre et le Pays de Galles (*).

Quel effet aurait, sur les salaires actuellement pratiqués, suivant les cours de la houille, une modification, une réduction ou une abolition des *royalties?*

Tous les représentants des ouvriers que la Commission a entendus (**) ont exprimé l'avis que la réduction per-

---

	MINE A		MINE B		MINE C		MINE D	
	1887	1890	1887	1890	1887	1890	1887	1890
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Salaires	63,02	69,58	64,17	66,76	59,72	64,99	66,13	73,04
Royalties	13,25	8,18	7,87	5,76	16,93	10,71	6,86	5,05
Impôts et taxes publiques.	1,67	1,38	1,10	1,19	2,19	1,77		
Autre frais (matières, chevaux, bois et divers, mais non compris l'intérêt du capital)	22,06	20,86	26,86	26,34	21,16	22,53	27,01	21,91
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Mine A. . . . produisant 400.000 tonnes par an de charbon à vapeur.
— B. . . . — 600.000 — — divers.
— C. . . . — 200.000 — — gras.
— D. . . . — 400.000 — — à vapeur.

Une autre mine importante du Monmouthshire a donné les renseignements suivants relatifs à diverses époques :

	1875		1880		1885		1889	
	par tonne	pour 100	par tonne	pour 100	par tonne	pour 100	par tonne	pour 100
	fr.		fr.		fr.		fr.	
Royalties.	1,04	8,3	0,79	10,1	0,88	10,3	0,86	9,7
Wayleaves (servitudes)	0,09	0,7	0,19	2,5	0,15	1,7	0,16	1,9
Salaires	7,54	60,3	4,86	62,3	5,47	63,6	5,99	66,0
Autres dépenses.	3,85	30,7	1,96	25,1	2,09	24,4	2,01	22,4
Total	12,52	100,0	7,80	100,0	8,59	100,0	9,02	100,0

(*) La Commission a déclaré ne pouvoir rien préciser pour l'Écosse.

(**) La Commission a entendu vingt-deux représentants des principales associations de houilleurs, sans compter deux ouvriers entendus sans délégation d'associations constituées.

mettrait une hausse des salaires et plusieurs exploitants paraissent partager cette opinion.

Sans y contredire précisément, la Commission a cru devoir faire observer que d'une manière générale il serait plus correct d'avancer que les salaires règlent les *royalties*, au lieu de dire que ce sont les *royalties* qui règlent les salaires. La raison en serait que, lorsque l'exploitant traite avec un propriétaire des conditions de son bail et partant du montant de la *royalty*, il dresse son prix de revient en tenant compte des dépenses probables, y compris la main-d'œuvre. A quoi on pourrait répondre, semble-t-il, que si l'exploitant a pu faire des prévisions, il n'est pas sûr qu'il soit le maître d'y rester; les contestations et les grèves qu'elles peuvent engendrer ne se résoudront pas toujours en sa faveur.

La Commission ne s'en est pas moins crue obligée d'analyser de très près les relations entre les *royalties* et les salaires; mais elle a pris soin de marquer catégoriquement que cette analyse n'était qu'une discussion purement théorique, car il ne lui a été soumis et elle ne propose aucun moyen pratique pour l'acquisition par l'État des substances minérales qui sont aujourd'hui la propriété des particuliers, et sans ce rachat il ne serait pas possible de réaliser effectivement une réduction ou une abrogation des *royalties*.

Sans doute des représentants d'associations ouvrières, imbus des idées du socialisme international, sont venus soutenir la nationalisation des mines, *the Nationalisation of minerals*, comme on dit en Angleterre. Les uns dont le porte-parole a été Keir-Hardie, le membre du Parlement plus connu comme le défenseur des *unskilled Workmen*, qui a comparu, comme président de *the Ayrshire Miners' Union*, association de mineurs relativement peu importante puisqu'elle ne compte que 11.000 ouvriers, ont demandé cette « nationalisation » sans indemnité pour

les propriétaires actuels « par le motif, a déclaré Keir-Hardie, que personne n'a créé les substances minérales, qu'elles n'appartiennent donc à personne en particulier, mais au peuple dans son ensemble », sauf à admettre une exception « lorsque des veuves ou enfants n'ont pour vivre que des *royalties* ».

On reconnaîtra là aisément des idées identiques à celles du projet de loi récemment déposé par M. Jaurès à notre Chambre des députés.

Les autres, dont les idées se rapprocheraient davantage de celles du projet de loi déposé antérieurement à cette même Chambre par M. Goblet, admettent la « nationalisation », mais avec une juste compensation pour les propriétaires ou détenteurs actuels.

A côté de ces propositions radicales, il est intéressant de constater que les représentants de nombreuses et puissantes associations ouvrières, celles du Northumberland, Yorkshire, West Lancashire, Derbyshire et Leicestershire notamment, sont contraires à l'idée de la nationalisation des mines.

La Commission s'est refusée à entrer dans toute discussion de cette question « parce qu'elle l'a considérée comme n'étant qu'une partie de la question plus large de la nationalisation de la propriété foncière » (*the nationalisation of land*) que le socialisme a posée en Angleterre comme en France.

Dans les termes qu'elle lui a ainsi fixés, l'analyse de la Commission sur le rapport entre les *royalties* et les salaires n'a plus de portée et ne présente guère d'intérêt. Il serait d'ailleurs permis de trouver sa discussion plus subtile que concluante.

La Commission admet tout d'abord que la récente coutume de fixer la *royalty* par échelles mobiles avec les prix, au lieu d'avoir un taux fixe, peut être profitable aux ouvriers. Sans doute, au fond, il n'y a pas là une

véritable réduction de la *royalty*. Le taux fixe ne peut être et n'est que la moyenne entre le taux extrême d'une *royalty* à échelles. Mais une *royalty* diminuée avec les bas cours permet encore le travail à des mines qui, sans cela, seraient obligées de chômer ; ces exploitations continuent donc à offrir une occupation aux ouvriers ; et de là l'avantage du système. A quoi, il est vrai, on pourrait répondre que si les mines placées dans de mauvaises conditions cessent d'extraire du charbon, et que le marché cependant en ait besoin, ce charbon sera produit par les mines placées dans de meilleures conditions. Le même travail restera offert aux ouvriers, avec un simple déplacement pour eux, sauf que, dans les bonnes mines, on pourra produire une même quantité avec un moindre personnel. Comme le déplacement seul constitue déjà un désavantage pour les ouvriers, la proposition de la Commission reste à tous égards fondée en pratique.

En ce qui concerne une réduction générale plus ou moins proportionnelle, ou la suppression des *royalties*, la Commission semble avoir été spécialement frappée des idées développées par M. T. Forster Brown sur l'utilité des *royalties* actuelles, avec leur quotité variable suivant les conditions des mines, pour établir une sorte d'égalité entre elles dans leur lutte économique. Avec une réduction ou une abrogation des *royalties*, les mauvaises mines se fermeraient au profit de celles placées dans les conditions les plus avantageuses. Dans la nouvelle situation économique où seraient placés les exploitants de ces mines, les prix seraient-ils baissés comme ils pourraient l'être toutes choses égales d'ailleurs ? c'est-à-dire la réforme profiterait-elle exclusivement aux consommateurs ? ou au contraire une partie de la diminution du prix de revient ne profiterait-elle pas aux salaires ? et une partie n'accroîtrait-elle pas les bénéfices des mines restant dans les conditions les meilleures ? Il ne semble

pas que la Commission ait voulu se prononcer nettement sur cette question d'incidence qui ne laisse pas d'être, en effet, assez délicate à régler. Elle ne conteste pas que consommateurs, exploitants et ouvriers ne puissent en retirer un avantage ; mais elle reste plus spécialement frappée, d'une part, de la perturbation qu'en ressentirait le marché actuel et, d'autre part, des inégalités trop grandes, notamment dans les salaires, qui pourraient exister de district à district et même de mine à mine. Cette réponse ne sera peut-être pas pour satisfaire ceux qui pourront trouver pire que le mal, un remède consistant à obvier à des inégalités par les inégalités des revenus des propriétaires.

La Commission a également recherché l'effet des *royalties* sur l'exportation des houilles anglaises. Dans la concurrence sur le marché international, il faut, comme l'a fait avec raison la Commission, comparer entre elles les « *royalties minima* » de chaque pays ; et par « *royalty minimum* » il faut entendre la redevance qui grève la tonne vendue, ici au profit du propriétaire du sol, là de l'État, pour « la mine la plus mauvaise » (*The worst mine*) du groupe de mines en concurrence entre elles, c'est-à-dire pour la mine placée dans les plus mauvaises conditions économiques, à raison soit de sa situation géographique, soit de la nature et de l'allure de son gîte.

Ses recherches ont amené la Commission à admettre comme *royalties minima*, définies comme il vient d'être dit :

En Angleterre, 0^{f},25 par tonne dans le Northumberland et le Durham ; 0^{f},40 dans l'ouest de l'Écosse ; 0^{f},30 dans l'est de l'Écosse ; 0^{f},40 dans le sud du Pays de Galles et le Yorkshire ;

En Allemagne, 0^{f},175 par tonne en Westphalie (*) ;

(*) Évaluation faite en partant de l'ancien impôt de 2 p. 100

En Belgique, 0f,150 (*) ;

En France, 0 (**).

C'est donc en Angleterre, et de beaucoup, qu'existe la *royalty minimum* la plus élevée. Mais la Commission estime que la production et l'exportation de la houille, en Angleterre, trouvent par ailleurs des conditions si favorables en comparaison des autres pays, notamment à raison de la qualité des charbons, de la facilité de l'extraction, des commodités pour l'expédition aux ports et du bas cours des frets, que la surcharge du chef des *royalties* peut être considérée comme sans influence; l'Angleterre garde sous ce rapport une suprématie que montre l'accroissement continu de son exportation (***).

Ces études approfondies ont donc amené la Commission à croire qu'il n'y avait aucun changement à recommander ou à souhaiter dans le système même des *royalties*, qui constitue le fonds du droit minier anglais , ni dans leur quotité actuelle.

Mais cet optimisme n'a pu s'étendre à toutes les clauses et conditions des baux en vertu desquels se fait communément l'exploitation des mines en Angleterre.

Avant d'entrer dans cette partie de la discussion, il est utile de s'arrêter un instant sur l'idée qu'on se fait généralement d'une exploitation de mine dans ce pays.

Elle ne concorde pas complètement, en effet, avec la

sur le produit brut et en prenant un prix moyen de vente de 14f,30, en 1890.

(*) Évaluation faite d'appréciation sur la base des taxes communales.

(**) En écartant la redevance fixe à raison de son insignifiance.

(***) De 1880 à 1890, l'exportation anglaise a passé de 23.268.000 à 38.226.080 tonnes avec un accroissement de 64 p. 100; pendant la même période, les exportations de France, Belgique et Allemagne n'ont respectivement augmenté que de 46 p. 100 (603.000 à 941.000), 7 p. 100 (4 525.000 à 4.851.000) et 20 p. 100 (7.236.450 à 9.145.187).

conception plus généralement admise sur le continent et particulièrement en France. Par suite peut-être du caractère juridique que notre droit a donné à la propriété des mines, nous avons une tendance à assimiler leur exploitation avec celle d'un bien foncier ordinaire par le père de famille. En Angleterre, l'exploitation d'une mine au moyen d'un bail de courte durée est une opération essentiellement industrielle, voir même commerciale, une spéculation où l'exploitant doit se préoccuper à l'avance de savoir si, dans le temps qui lui est imparti, il pourra, avec les produits de l'extraction qu'il peut espérer réaliser, non seulement couvrir ses dépenses courantes, mais encore amortir le capital de premier établissement nécessaire à la création de la mine ; et, tout cela payé et remboursé , pourra-t-il tirer de l'opération le légitime bénéfice que réclament son temps, son habileté et les risques courus ? A lui d'asseoir dès le début ses calculs en conséquence et de n'engager de dépenses en capital qu'à bon escient ; mais, d'autre part, il ne serait pas équitable que des circonstances hors de toute prévision vinssent annihiler les calculs qui pouvaient passer pour avoir été les plus prudemment et les plus mûrement établis.

C'est à raison de ces vues un peu particulières des choses, que les exploitants ont présenté diverses réclamations auxquelles la Commission a donné plus ou moins l'appui de son autorité.

Ainsi, sur la question des « *shorts* », c'est-à-dire des minima annuels de rente à payer aux propriétaires, la Commission pense, avec les exploitants, qu'à défaut d'entente entre les intéressés, il serait désirable qu'un tribunal approprié pût donner à l'amodiataire un prolongement ou délai de grâce pour lui permettre d'extraire le charbon pour lequel il se trouve, en fait, avoir payé la *royalty* et qu'il n'a pu sortir sans qu'il y ait eu faute de sa part (*),

(*) Il a fallu prévoir le cas de faute, parce qu'il n'est pas rare de

à moins que le propriétaire ne préfère restituer les *royalties* correspondantes.

La Commission a trouvé également fondées, les réclamations des exploitants au sujet de la cessibilité de leurs baux à des tiers. Cette cessibilité est particulièrement indispensable pour des baux dont la durée n'est plus en rapport avec celle de la vie d'un homme. La Commission trouverait donc opportun qu'une disposition de la loi généralisât, en l'imposant, une pratique admise dans les baux les plus récents et les mieux étudiés ; aux termes de cette disposition le bail est cessible, après préavis donné au bailleur, sur permission écrite de celui-ci, étant entendu qu'il ne peut refuser cette permission sans motif raisonnable ; le différend, s'il en surgit un, est vidé par arbitrage ou par les tribunaux.

Pareille conclusion a été admise pour le cas où la résiliation a été permise sous réserve de la réalisation des arrangements convenus entre parties. Il faut que l'exploitant puisse être relevé de ceux qui ne seraient pour lui qu'une charge inattendue sans constituer un avantage correspondant pour le bailleur.

La Commission ne s'est pas du reste associée à la demande faite de divers côtés en vue de remettre tous les différends entre propriétaires et amodiataires à une juridiction spéciale, constituée dans chaque comté, à l'élection des intéressés, et qui serait présidée par quelque juge ordinaire ou toute autre autorité permanente.

Beaucoup plus sérieuses ont paru être les difficultés résultant des servitudes que les exploitants ont besoin d'acquérir pour établir leurs voies de desserte ou leurs travaux de secours (sortage, épuisement et aérage). Aussi la Commission a-t-elle plus vivement insisté sur

voir des exploitants amodier, dans des vues de spéculation, des terrains pour lesquels ils payent la rente fixe sans qu'ils aient aucune intention de les exploiter.

l'opportunité d'une modification législative qui permît à l'exploitant de recourir à quelque tribunal dans le cas où il serait exposé, de la part des propriétaires du sol, à un refus injustifié ou à des conditions inacceptables.

Pour les cas où la propriété de la surface et celle de la mine, étant entre des mains différentes, le propriétaire de la surface est aujourd'hui en droit de demander la suspension des travaux en vue d'éviter tout dommage à la surface, la Commission voudrait que les tribunaux eussent un pouvoir d'appréciation et de décision plus étendu qu'actuellement; ils devraient pouvoir, suivant les circonstances, autoriser la continuation des travaux dans des conditions qui tinssent mûrement et continûment le propriétaire de la surface au courant de la marche des travaux et lui assurassent toute garantie pour le payement des indemnités.

Nous passons, comme étant trop spéciales de leur nature, sur les propositions de la Commission relatives aux cas où la mine dépend d'un tenancier à vie (*tenant for life*) (*), lesdites propositions tendant à accroître, sous le contrôle de l'autorité judiciaire, les pouvoirs actuels du *tenant*, de façon qu'il puisse consentir pour l'exploitation de la mine, des baux de plus de vingt et un ans, durée souvent trop courte pour l'amortissement du capital d'établissement d'une mine ; on voudrait qu'il pût disposer de plus de liberté dans ses conventions avec l'exploitant de façon à donner à celles-ci toute la souplesse qu'exigent les nécessités industrielles suivant les circonstances qui peuvent se présenter.

De même la Commission pense que, sous réserve de garanties à établir, il conviendrait d'accroître la durée des baux que peuvent consentir certaines corporations,

(*) Ce *tenant for life* a beaucoup d'analogies avec notre usufruitier à vie.

en l'état de leurs statuts, et qui est parfois trop courte.

Comme conclusion de ses investigations spéciales sur les mines du Cornouailles et du Devonshire, et étant donné que ces mines sont déjà soumises à une législation spéciale, la Commission a appuyé l'adoption par le Parlement du projet de loi proposé en 1886 par sir John Saint-Aubyn et dont les clauses principales sont les suivantes :

L'amodiataire aura droit au renouvellement de son bail ou à juste indemnité au cas contraire, les conditions du renouvellement ou de la compensation devant être fixées, en cas de désaccord, par arbitrage, des « épingles » ne pouvant être allouées au renouvellement que par l'accord formel des parties ;

Les terrains occupés seront payés à leur valeur vénale, avec une plus-value pour le morcellement, le montant de l'indemnité étant fixé par arbitres ;

L'amodiataire pourra enlever, en fin de bail, toutes constructions faites par lui, sous réserve d'un droit de préemption en faveur du propriétaire ;

Lorsque, dans un champ d'exploitation défini, la propriété des substances minérales est indivise entre plusieurs personnes, si les deux tiers d'entre elles au moins ont consenti au bail de la mine, la *Court of Stannaries* (*) peut

(*) La *Stannaries Court*, dont l'institution remonte à un temps immémorial, constitue une juridiction spéciale au Devonshire et au Cornouailles ; c'est un tribunal qui connaît, comme une *Court of Records* du droit commun, des contestations relatives à la recherche et à l'exploitation des mines dans les deux comtés, y compris les contestations entre intéressés, mineurs ou associés. La *Stannaries Court* est constituée par un seul magistrat, qui a le titre de *Vice Warden of Stannaries*, suppléé en cas d'absence par un *Deputy*. La Cour siège habituellement à Truro pour le Cornouailles et à Plymouth-Devonport ou Stonehouse pour le Devonshire.

L'appel, sauf le cas où la *Court of Stannaries* a jugé en dernier ressort, se porte actuellement devant la *Court of Appel*, et de là éventuellement à la Chambre des Pairs. Jadis, l'appel se portait

accorder la permission d'exploiter au nom des dissidents sous les mêmes conditions que pour les autres propriétaires.

III

Les faits et les considérations dont nous venons de donner le résumé ont finalement amené la Commission, comme conclusion de son enquête, à soumettre au gouvernement les propositions dont nous croyons devoir donner la traduction intégrale :

« I. Nous estimons que le montant payé comme *royalties* pour la houille, le minerai de fer, et autres métaux extraits dans le Royaume-Uni pendant l'année 1889, a été de 116.626.075 francs et que les charges pour servitudes (*Wayleaves*) ont été dans la même année d'environ 5.400.000 francs.

« II. Nous sommes d'avis que le système des *royalties* n'a eu aucune influence sur le développement général des ressources minérales du Royaume-Uni, non plus que sur les exportations de houille à l'étranger.

« III. Nous ne pensons pas que les termes et conditions sous lesquels ces payements sont effectués soient, en général, de nature à réclamer une intervention du législateur ; mais nous recommandons l'adoption de quelque mesure pour les cas dans lesquels un exploitant serait empêché, par des causes hors de son contrôle, d'extraire les substances minérales qu'il a acquises, et aussi pour les cas concernant certains empêchements à la cession ou à la résiliation des baux.

« IV. Nous sommes d'avis que, lorsque la surface

devant le *Lord Warden of the Stannaries* qui statuait en ce cas avec l'assistance de hauts magistrats.

appartient à une personne et les substances minérales du tréfonds à une autre, de plus grandes facilités soient prévues pour l'exploitation de ces substances.

« V. Nous sommes d'avis que de plus grandes facilités soient données aux *tenants for life of settled estates* (usufruitiers de biens fonds), pour disposer de la propriété des mines.

« VI. Nous pensons que des facilités pour l'octroi de baux à plus longs termes doivent être données aux corporations et établissements publics qui ne posséderaient pas de pouvoirs suffisants à cet égard.

« VII. Nous recommandons à la prise en considération du Parlement tout projet qui lui serait présenté, avec le concours de tous les intéressés, pour régler les baux dans le Cornouailles et le Devonshire, d'après des bases analogues à celles du bill présenté à la Chambre des communes, en 1886, par sir John Saint-Aubyn.

« VIII. Nous estimons que les Commissaires des Bois et Forêts (*) ont administré les droits de la Couronne sur l'or, dans le Pays de Galles, aussi libéralement que leur devoir le comportait.

« IX. Nous sommes d'avis que quelques mesures devraient être prises pour obvier aux sérieux obstacles que le développement des mines en Irlande rencontrera vraisemblablement dans la multiplication des petites propriétés découlant de la nouvelle législation.

« X. En ce qui concerne les *wayleaves*, nous sommes d'avis que les possesseurs de propriétés minières, empêchés sans motifs d'obtenir accès au chemin de fer, au canal ou au port le plus rapproché ou le mieux approprié, ou empêchés d'acquérir des servitudes souterraines dans de bonnes conditions, ne devraient pas être laissés sans

(*) L'administration des Bois et Forêts gère le domaine minier de la Couronne comme nous l'avons dit.

aide, et nous nous en référons à nos observations sur ce point.

« XI. Nous voudrions que le Département des mines au Ministère de l'Intérieur soit réorganisé et doté des pouvoirs nécessaires pour réunir et publier des informations exactes sur les mines et les produits minéraux. »

NOTE
SUR UN MODE DE GRADUATION
DES ÉPROUVETTES A GRISOU

Par M. RATEAU, Ingénieur des mines.

La méthode de dosage du grisou par les limites d'inflammabilité, sous la forme que lui a donnée M. l'ingénieur en chef des mines H. Le Chatelier (*), est précise et pratique. Elle permet de mesurer, à un demi-millième près, la quantité de gaz combustible contenue dans un air de mine; et les essais se font rapidement, surtout si, pour les remplissages de l'éprouvette, on emploie l'appareil imaginé par M. l'ingénieur des mines Lebreton (**). On peut en laisser l'application à un aide quelconque, pourvu qu'il soit soigneux.

Mais, avec le mode actuel de graduation, il est encore nécessaire de faire un petit calcul pour déduire la teneur en grisou du volume de gaz auxiliaire qui correspond à la limite d'inflammabilité du mélange. Il serait un peu plus simple assurément de s'arranger de façon que la teneur cherchée se lise directement sur l'échelle de l'éprouvette, comme la température sur une échelle de thermomètre. Le problème suivant se pose donc.

Peut-on graduer l'éprouvette de manière que le niveau auquel on s'arrête pour le gaz auxiliaire marque une

(*) *Annales des mines*, 1891, 1er volume, p. 388.
(**) *Suprà*, p. 289.

division qui exprime exactement la teneur en millièmes de grisou? La solution de ce petit problème est facile. Elle consiste à faire sur l'éprouvette, une fois pour toutes, le calcul qu'on est obligé de répéter à chaque opération lorsque les divisions sont faites en parties égales. Elle serait rigoureuse si l'on possédait un gaz auxiliaire ayant toujours la même limite d'inflammabilité. Son approximation est très suffisante dans la pratique où cette limite varie entre 60 et 85 millièmes.

Avant d'exposer la nouvelle méthode de graduation, rappelons brièvement comment est constituée l'éprouvette de M. Le Chatelier. Elle se compose (*fig.* 1) d'un corps cylindrique AB surmonté d'un tube CD fermé dans le haut. Sur le corps cylindrique est marqué un trait de repère M limitant un certain volume V. Le tube CD est divisé par des traits, à partir de l'extrémité supérieure; et chaque division v est exactement le millième du volume V.

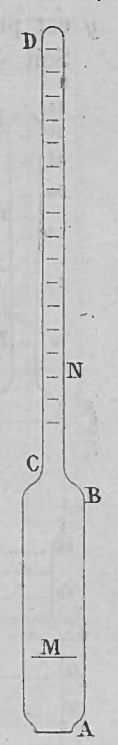


Fig. 1.

Soit N le nombre de divisions du tube CD qu'il faut remplir de gaz d'éclairage pour que, en ajoutant de l'air pur jusqu'au trait M, on ait la limite d'inflammabilité. N est en millièmes la teneur du mélange à cette limite.

Soit ensuite n (au plus égal à N) le nombre des divisions de ce tube qu'il faut remplir de ce gaz auxiliaire pour arriver à la limite d'inflammabilité quand on complète le volume V avec de l'air de mine. La teneur x de cet air en millièmes de grisou, en supposant qu'il ne renferme comme élément combustible que du formène, est alors donnée par la formule suivante (*):

$$(1) \qquad x = 60\left(1 - \frac{n}{N}\right)\frac{1.000}{1.000 - n}.$$

(*) H. Le Chatelier, *Annales des mines*, *loc. cit.*

C'est de cette formule qu'il faut tirer la graduation cherchée.

Remarquons d'abord que la fraction $\frac{1000}{1000-n}$, plus grande que l'unité, n'en diffère jamais beaucoup, puisque, dans l'application, le nombre n ne dépasse pas 85. Dans une première approximation on peut lui donner la valeur 1, et on a alors la formule :

$$y = 60\,\frac{N-n}{N}; \qquad (2)$$

y est proportionnel à $N-n$.

Soit (*fig.* 2) N le trait auquel aboutit le volume de gaz auxiliaire qui donne la limite d'inflammabilité avec l'air pur quand le volume total du mélange s'arrête au trait M. Marquons *zéro* ce trait N, et divisons la colonne ND en 60 parties égales à partir de ce zéro. Les choses étant ainsi disposées, il est clair que si le trait n, donné par une épreuve avec un air de mine, est marqué 25, par exemple, c'est là précisément la valeur de y, d'après la formule (2).

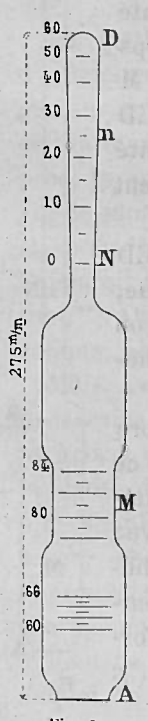


Fig. 2.

Pour ne pas avoir de déplacements du zéro, il faut faire varier le volume du mélange total de manière qu'à la limite d'inflammabilité avec l'air pur le volume du gaz auxiliaire soit toujours le même DN. Dans ce but, on dispose au bas de l'éprouvette une deuxième graduation, qui peut d'ailleurs servir à trouver la valeur numérique de cette limite d'inflammabilité, en faisant en sorte que les traits de division M marquent des volumes DM tels que le volume DN en soit un nombre entier de millièmes successivement égal à 85, 84, 83, etc..., jusqu'à 60.

Mais y n'est pas exactement la valeur que l'on veut avoir : x lui est toujours un peu supérieur. Des formules (1) et (2) on tire la différence $x-y$ en fonction de y et de N.

$$x - y = \frac{y\,(60-y)}{\frac{60.000}{N} - 60 + y}. \qquad (3)$$

Si l'on porte cette différence $x-y$ en abscisse et y en ordonnée on obtient une courbe (*fig.* 3) qui est une hyperbole facile à tracer. A chaque valeur de N correspond une hyperbole particulière. Sur le dessin, on a indiqué seulement les courbes qui correspondent aux valeurs de N égales à 84, à 80 et à 62,5.

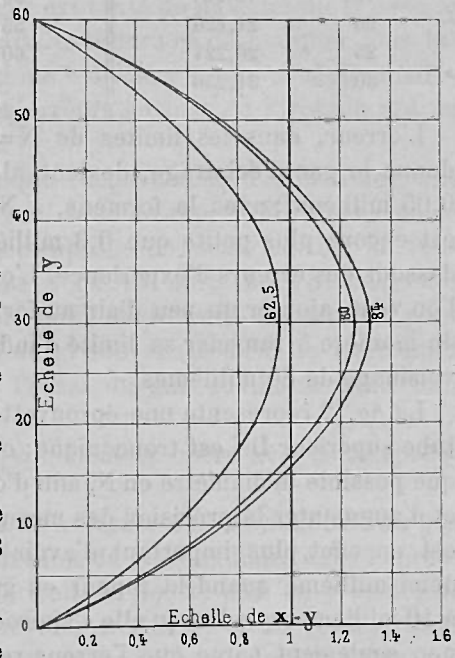


Fig. 3.

Le maximum de l'erreur $x-y$ a lieu pour une valeur de y très voisine de 30. On voit qu'elle ne dépasse jamais 1,3 millième.

On pourrait se servir de l'abaque que forment ces courbes pour corriger l'y trouvé par l'expérience, mais il vaut mieux faire la correction sur l'éprouvette même en modifiant légèrement la graduation. Cette correction serait rigoureuse si le gaz auxiliaire avait toujours la même limite d'inflammabilité. Comme il n'en est pas ainsi,

on ne peut que faire correspondre la correction à une limite d'inflammabilité moyenne. Le tableau ci-dessous donne les volumes calculés des divisions x correspondant aux y de la première colonne, en adoptant la valeur moyenne N = 80.

y	x	y	x
0	0,	35	36,207
5	5,396	40	41,096
10	10,715	45	45,918
15	15,967	50	50,675
20	21,126	55	55,370
25	26,224	60	60
30	31,250		

L'erreur, dans les limites de N = 78 à N = 84 que donne le gaz d'éclairage, devient alors plus petite que 0,05 millième ; avec le formène, à N voisin de 60, elle est encore plus petite que 0,3 millième, ce qui est au-dessous des erreurs d'expérience. L'on peut d'ailleurs, si l'on veut, ajouter un peu d'air au formène qu'on emploie de manière à ramener sa limité d'inflammabilité dans le voisinage de 80 millièmes.

La *fig.* 2 représente une éprouvette ainsi graduée. Le tube supérieur DN est tronconique ; on en diminue autant que possible le diamètre en N, afin d'écarter les divisions et d'augmenter la précision des mesures près du zéro. Il est en effet plus important d'avoir l'approximation du demi-millième quand la teneur en grisou est inférieure à 10 millièmes que lorsqu'elle s'approche de 50 millièmes, non seulement parce que l'erreur relative est ainsi plus petite, mais aussi parce que le premier cas est de beaucoup le plus fréquent.

L'expérience montre que, pour la commodité du remplissage, la capillarité impose au diamètre intérieur du tube une limite inférieure de 7 millimètres environ.

Dans la région M, l'éprouvette est rétrécie de manière

à écarter les traits de cette échelle M suffisamment pour qu'on les distingue parfaitement bien.

Cette nouvelle éprouvette semble plus compliquée que celle de la *fig.* 1, et on pouvait penser que les constructeurs ne la réaliseraient que difficilement. En réalité il n'en est rien. L'irrégularité des échelles est peut être même une garantie, car elle oblige la détermination par le mercure de presque toutes les divisions, tandis qu'avec des colonnes cylindriques à divisions égales le constructeur est tenté de ne déterminer avec le mercure que les traits extrêmes et de marquer tous les autres avec la machine à diviser, ce qui conduit infailliblement à de petites erreurs à cause de l'irrégularité du calibrage des tubes.

Il y a bien quelque inconvénient à substituer une échelle divisée au seul trait de repère M. Mais comme cette échelle est décomposée en deux parties ne renfermant chacune que 8 ou 10 traits bien distincts les uns des autres, il suffit d'un peu d'attention pour reprendre à l'essai au grisou exactement le trait qui a été déterminé par l'essai du gaz auxiliaire avec l'air pur.

Voici, en résumé, comment on opère avec cette éprouvette.

1° *Détermination de la limite d'inflammabilité du gaz auxiliaire.* — On introduit du gaz auxiliaire dans l'éprouvette jusqu'au zéro, trait N, *fig.* 2 ; puis on y ajoute de l'air pur jusqu'à l'un des traits M ; et on vérifie, après mélange, s'il y a inflammation par une allumette. On cherche systématiquement le trait de l'échelle M, qui correspond à la limite d'inflammabilité, en ayant bien soin de remettre du gaz auxiliaire toujours jusqu'au zéro de l'échelle N, exactement.

Le trait M auquel on s'arrête donne, en millièmes, la limite d'inflammabilité du gaz auxiliaire.

Dans le cas du gaz d'éclairage, c'est la partie supérieure de l'échelle M qui est utilisée; si l'on se sert du formène, c'est la partie inférieure que l'on doit employer.

2° *Détermination de la teneur en grisou d'un air de mine.* — On introduit du gaz auxiliaire jusqu'à une certaine division de l'échelle DN (*fig.* 2), puis on y ajoute de l'air de mine en expérience jusqu'au trait de l'échelle M déterminé par l'essai précédent sur le gaz auxiliaire. On effectue le mélange et on examine la combustibilité avec une allumette. On recommence systématiquement, en faisant varier la quantité du gaz auxiliaire, jusqu'à ce qu'on arrive à la limite d'inflammabilité du mélange. Le trait de l'échelle DN auquel on s'arrête donne directement la teneur en millièmes de grisou.

Remarque. — Pour avoir des mesures exactes, il faut éviter soigneusement de toucher avec les doigts le petit tube DN pendant le remplissage, parce que la chaleur dilaterait le gaz. L'éprouvette peut être tenue au moyen d'une baguette en verre fixée par deux anneaux en caoutchouc.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE

DANS

L'INSTALLATION ET L'EMPLOI

DES

TUBES INDICATEURS DU NIVEAU DE L'EAU

DES CHAUDIÈRES A VAPEUR

Par M. C. WALCKENAER, Ingénieur des mines.

Utilité de cette étude. — Lorsqu'on examine la statistique des accidents d'appareils à vapeur, publiée chaque année par le ministère des travaux publics, on est frappé de la proportion des accidents de chaudières attribués au manque d'eau. Pour l'ensemble des dix années 1883-92, le manque d'eau figure comme cause (le plus souvent unique) de 70 accidents sur 257, c'est-à-dire de plus de 27 p. 100 des accidents de chaudières (*); en 1893, il en a causé 11 sur 30 (**), soit plus de 1/3. Certains hommes de l'art ont quelquefois été tentés de se demander si de tels rapports étaient bien l'exacte expression de la vérité, si le manque d'eau n'avait pas été donné à tort comme origine à certains accidents dont en

(*) Le nombre 257 comprend les accidents de chaudières proprement dites, de réchauffeurs et de surchauffeurs. Les accidents inscrits à la statistique, pour cette période, sont au nombre total de 329; mais 70 portent sur des récipients de vapeur et 2 sur d'autres appareils non chauffés à feu nu.

(**) Il y a eu, en 1893, 37 accidents d'appareils à vapeur, dont 7 de récipients.

réalité les causes étaient restées incomprises. Mais quand on entre dans le détail des enquêtes, même en y apportant, pour ainsi dire, une prévention contre l'hypothèse du manque d'eau, on reconnaît avec évidence que cette cause d'accident est réellement d'une grande fréquence relative.

Si les accidents ainsi produits sont nombreux, sont-ils du moins assez généralement inoffensifs ou peu graves pour qu'en fin de compte le manque d'eau soit un danger minime au point de vue de la sécurité des personnes? Ce serait une erreur de le croire. Sans doute, pour les types de chaudières où le défaut d'alimentation ne découvre les tôles exposées à rougir que lorsque l'appareil est à peu près vide de liquide, les accidents par manque d'eau ne s'accompagnent pas d'effets dynamiques d'une grande ampleur ; mais il faut relativement si peu de chose pour brûler mortellement un homme, que cette classe d'accidents ne laisse pas d'être redoutable pour les chauffeurs, trop généralement exposés d'une manière directe à un flux de vapeur d'eau et de produits de la combustion envahissant la chaufferie. C'est ainsi que la même statistique inscrit 30 morts, sans compter les simples blessures, au bilan des 70 accidents de 1883-92; en 1893, les accidents par manque d'eau ont causé 2 morts et 5 blessures graves. Ce n'est donc pas seulement par le nombre des avaries, mais encore par celui des victimes, que la fréquence des manques d'eau s'accuse comme un mal auquel il importerait grandement de trouver des remèdes.

Parmi ceux-ci, l'on voudrait ici attirer l'attention sur diverses précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des tubes indicateurs du niveau de l'eau. Ce n'est sans doute qu'un côté de la question ; mais le tube de verre, réglementairement obligatoire, constitue un appareil de sûreté tellement important, qu'on ne saurait

trop s'attacher à en mettre les indications à l'abri de toute cause d'erreur.

Or, si les enquêtes relatives aux accidents de chaudières ont mis fréquemment en évidence le jeu défectueux de beaucoup de systèmes de flotteurs, sujets à se coincer, à rester paresseux par frottement, à se fausser par embouage, à devenir fantaisistes par la chute d'un axe ou d'un boulon, le tube indicateur en verre n'a pas toujours été, de son côté, trouvé exempt de reproches. Voici des cas que l'auteur de ces notes s'est trouvé personnellement à même d'observer ; s'il relate ces exemples, ce n'est à aucun degré pour discréditer l'emploi du tube de verre, mais parce qu'il faut le bien connaître afin de bien s'en servir.

Exemples d'obstruction du tube de verre. — Le 12 décembre 1892, dans une des usines d'électricité de Paris, une déchirure se produisait à l'un des tubes bouilleurs d'une chaudière Babcock et Wilcox, causant des brûlures au seul ouvrier qui se trouvât alors dans la chaufferie. Ce tube appartenait à la rangée inférieure, et toutes les apparences dénotaient un coup de feu par manque d'eau. Cette chaudière possédait deux tubes indicateurs en verre et un flotteur à cadran ; pour ce dernier, le directeur de l'usine avouait qu'il était en mauvais état de fonctionnement depuis deux jours ; mais deux tubes de verre, indépendants l'un de l'autre, ne paraissaient-ils pas avoir dû donner de suffisantes garanties ? Or, en démontant ces tubes à la suite de l'explosion, on a trouvé que l'un et l'autre étaient bouchés, à leur partie inférieure, par le caoutchouc de la garniture. Les croquis ci-dessous, *fig.* 1 et 2, montrent approximativement comment les choses étaient disposées à la base de chacun de ces deux tubes.

Le 9 janvier suivant (1893), un coup de feu par manque d'eau amène la déchirure d'un tube bouilleur d'une chaudière Roser, dans une usine d'élévation d'eau, à Paris. Le

flux brûlant qui fait irruption dans la chaufferie blesse grièvement trois hommes. Les appareils indicateurs étaient un tube de verre et un flotteur ; le flotteur ne fonctionnait pas par suite du départ d'une goupille ; quant au tube, la *fig.* 3, exécutée d'après une photographie, donne une vue de sa monture inférieure telle qu'elle

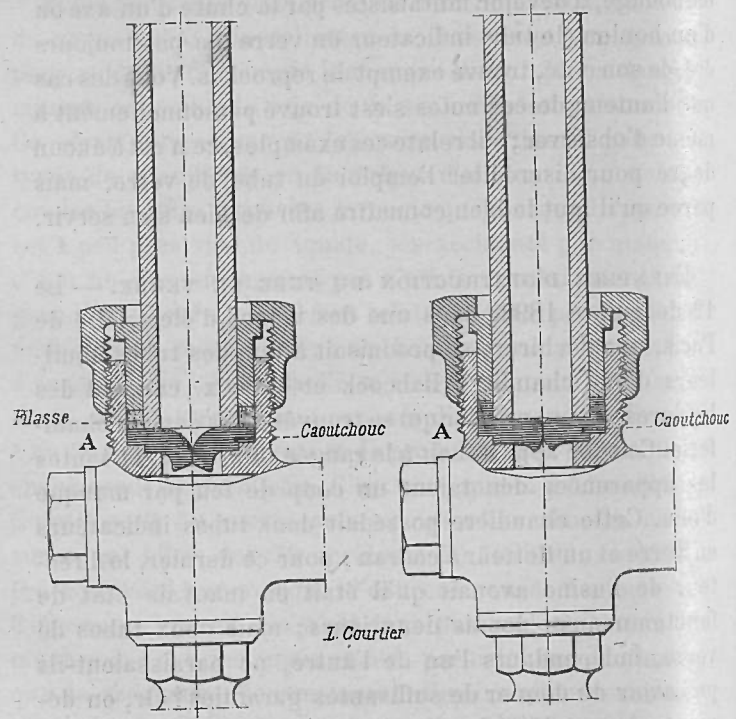


Fig. 1. — État du tube de gauche. (Accident du 12 décembre 1892).

Fig. 2. — État du tube de droite.

est apparue aux regards une fois le tube retiré : on voit que celui-ci s'était trouvé, de même, entièrement bouché à sa base par l'expansion de la garniture de caoutchouc.

Ce ne sont pas les seuls faits de ce genre : dans le dix-neuvième *Bulletin de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur* (exercice 1892), M. Compère cite un générateur Collet où deux manques d'eau ont pris naissance, à un mois d'intervalle, par suite de la même cause (*).

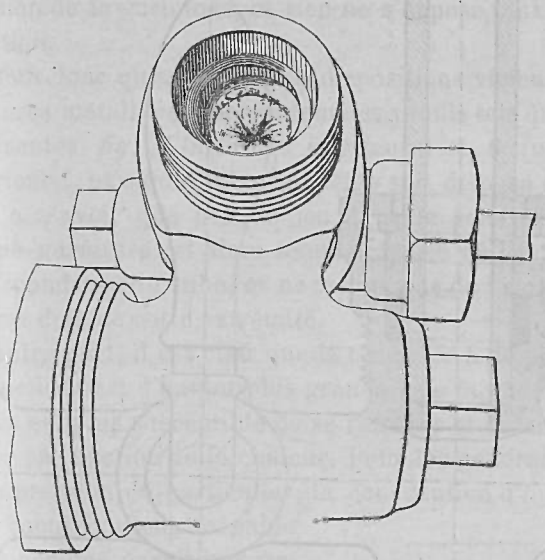


Fig. 3. — Vue de la monture inférieure après enlèvement du presse-étoupes et du tube. (Accident du 9 janvier 1893.)

La production de ces dangereuses obstructions, qui rendent trompeur le tube indicateur en verre, doit être rapportée aux dispositions des montures métalliques et au ramollissement des bagues de caoutchouc.

La coupe du porte-tube, tel qu'il existait sur chacune des chaudières Babcock et Roser citées ci-dessus, est donnée par les croquis *fig.* 1 et 2 pour la première, *fig.* 4 pour la seconde. Avec de pareilles dispositions, il suffit que le moindre intervalle existe lors de la pose du tube, ou se produise ultérieurement, entre

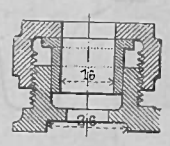


Fig. 4. — Coupe de la monture inférieure ; disposition défectueuse. (Accident du 9 janvier 1893.)

(*) Il cite aussi un générateur Belleville dont le tube de verre et l'automoteur ont été faussés ensemble par suite de l'entartrement de la tubulure amenant l'eau à la colonne de niveau.

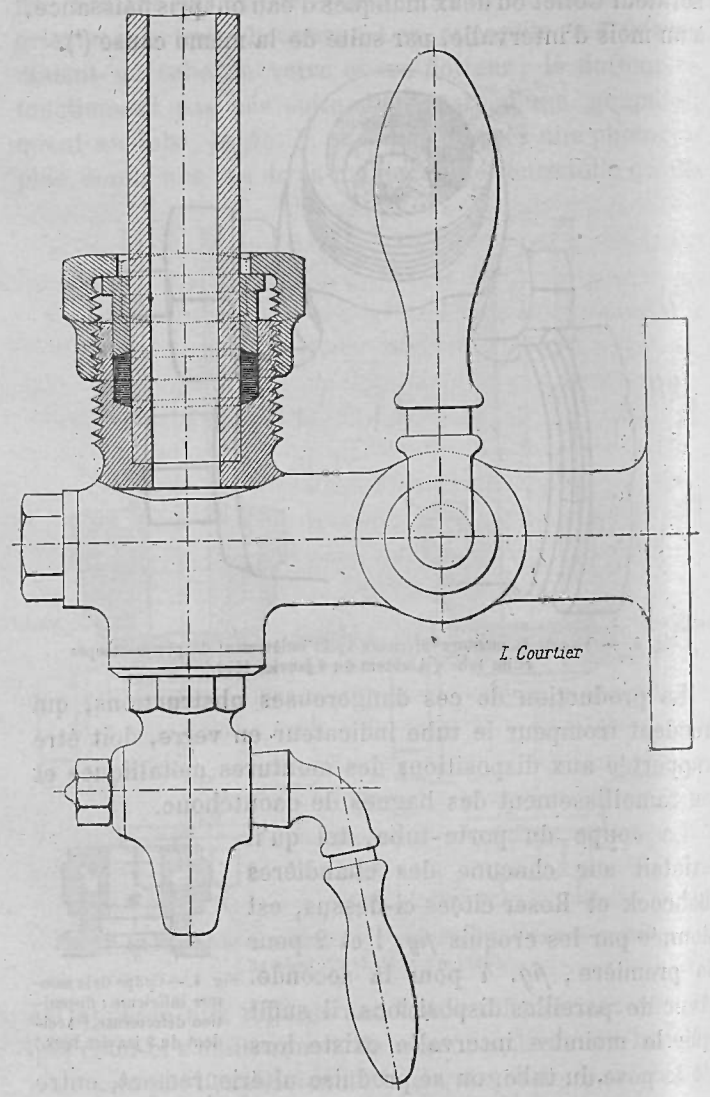


Fig. 5. — Monture inférieure d'un tube convenablement disposé.

la base du verre et le fond de son logement, pour que, sous la pression du grain de presse-étoupe, la matière

de la garniture puisse venir s'insinuer dans cet intervalle ; le tube tend alors lui-même à remonter sous la pression de la garniture, et rien ne s'oppose plus à l'obstruction.

Il faut donc qu'au lieu de ces dispositions vicieuses, les montures métalliques présentent des profils tels que ceux représentés *fig.* 5 (monture inférieure) et 6 (monture supérieure), et que le tube lui-même soit disposé de manière à n'avoir que peu de jeu dans le sens vertical ; chaque garniture est alors tenue éloignée de l'extrémité correspondante du tube, et ne risque pas de venir s'insinuer au delà de cette extrémité.

D'autre part, il est clair que la tendance à de pareilles obstructions est d'autant plus grande, que la matière des bagues est plus susceptible de se ramollir et de se boursoufler par l'action de la chaleur. Pour les générateurs à haute pression en particulier, la constitution d'un composé caoutchouteux capable de donner des garnitures qui ne s'altèrent pas, exige des conditions toutes spéciales, qui peuvent n'être pas toujours remplies.

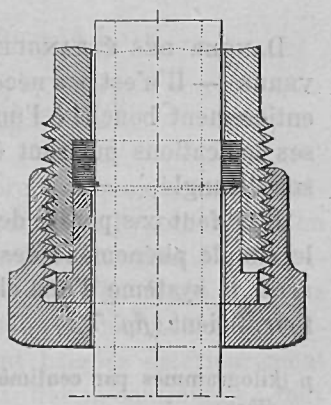


Fig. 6. — Monture supérieure d'un tube convenablement disposé.

Tel était précisément le cas pour la chaudière Babcock et Wilcox de l'usine d'électricité. Les bagues qu'on y employait étaient faites d'un caoutchouc beaucoup trop sensible à l'action de la chaleur ; aussi semble-t-il que l'obstruction d'un tube ne fût pas une rareté dans l'usine et pût se produire en peu de temps. Au cours même de l'enquête qui a suivi l'accident, un chauffeur qui avait remplacé un tube de verre à l'une des chaudières en mar-

che ayant été invité, quelques heures après, à en faire la purge, accusa que le tube était « bouché du haut » par la garniture. Ici, c'est le caoutchouc supérieur qui avait produit l'obstruction. La propriété de ce caoutchouc, de se ramollir et peut-être de se boursoufler à haute température, explique bien la forme des expansions indiquées sur les *fig.* 1 et 2.

Formes irréprochables des montures métalliques, composition convenable des garnitures, voilà donc des conditions à réaliser pour que des obstructions de cette espèce ne risquent pas de se produire. Une règle judicieuse, indiquée par M. Sauvage (*), consiste encore à interposer de petites tresses de chanvre en dessous et en dessus de la bague de caoutchouc.

Il convient naturellement d'ajouter le soin dans la pose, et ensuite la fréquence dans les vérifications du fonctionnement du tube, dont il sera parlé plus loin.

DANGER DES ÉTRANGLEMENTS ; THÉORIE DU TUBE DE VERRE. — Il n'est pas nécessaire qu'un tube de verre soit entièrement bouché à l'une de ses extrémités pour que ses indications puissent être trompeuses. Il suffit qu'il soit étranglé.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que ce n'est pas le simple phénomène des vases communicants que présente le système d'une chaudière et de son tube indicateur. Soient (*fig.* 7) :

p (kilogrammes par centimètre carré) la pression dans la chaudière ;

p' la pression dans le tube de verre sur la surface libre du liquide ;

π (kilogrammes par litre) le poids spécifique moyen des couches d'eau contenues dans la chaudière, depuis le niveau libre du liquide jusqu'au niveau où le tuyau, qui établit la

(*) *La machine locomotive*, p. 68.

communication inférieure entre la chaudière et le tube de verre, est greffé sur la chaudière (*) ;

π' le poids spécifique moyen des couches d'eau contenues à la base du tube de verre et dans ledit tuyau de communication inférieur, entre ce tube et la chaudière (**) ;

h (centimètres) la hauteur du niveau de l'eau dans la chaudière au-dessus du point d'insertion de ce tuyau inférieur de communication ;

z la différence entre les niveaux de l'eau dans le tube de verre et dans la chaudière, comptée positivement lorsque l'eau est plus haute dans le tube que dans le générateur.

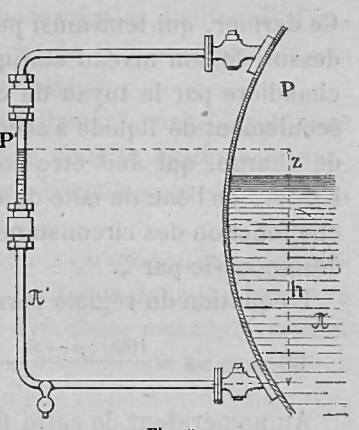


Fig. 7.

On aurait pour l'équilibre statique :

$$1000\,p + h\,\pi = 1000\,p' + (h + z)\,\pi'$$

d'où

$$(1) \qquad z = \frac{1000\,(p - p') + h\,(\pi - \pi')}{\pi'}.$$

Mais ce n'est pas un équilibre statique qui existe réellement. Supposons, comme première hypothèse, qu'on puisse encore considérer approximativement l'eau contenue dans la chaudière comme étant au repos. En tous cas, le tube de verre et son tuyau de communication supérieur avec la chaudière étant baignés extérieurement par l'air, il s'y produit une distillation continuelle ; tout ou partie de l'eau qui s'y condense s'écoule vers le tube

(*) Exactement, valeur de la somme $\frac{1}{h}\int_0^h \pi\,dh$.

(**) Exactement, $\frac{1}{h+z}\int_0^{h+z} \pi'\,d\,(h+z)$.

et tombe dans le tube sur la surface libre du liquide (*). Ce dernier, qui tend ainsi perpétuellement à s'élever au-dessus de son niveau statique, s'écoule d'autant vers la chaudière par le tuyau de communication d'eau. Or, cet écoulement de liquide s'accompagne d'une certaine perte de charge, qui doit être compensée par un surcroît de hauteur de l'eau du côté du tube en verre ; ce surcroît est une fonction des circonstances complexes de chaque cas ; désignons-le par ζ.

L'équation du régime permanent est dès lors

$$(2) \qquad z = \frac{1000\,(p - p') + h\,(\pi - \pi') + \zeta\,\pi'}{\pi'}.$$

Au numérateur de cette fraction, le premier terme est toujours positif, car la pression sur la surface du liquide dans le tube de verre a, par rapport à la pression dans la chaudière, une valeur réduite en raison des phénomènes de refroidissement et d'écoulement qui constituent la distillation dont nous avons parlé. La valeur positive de ce terme est plus ou moins grande suivant les dispositions des tuyauteries, leur conductibilité, l'écart existant entre la température des fluides dans la chaudière et celle de l'air dans la chaufferie.

Le second terme $h\,(\pi - \pi')$ est au contraire négatif, au moins toutes les fois que la température de l'eau de la chaudière est suffisamment uniforme sur la hauteur h, car en ce cas, à la base du tube de verre et dans le tuyau de communication inférieur entre ce tube et la chaudière, l'eau est à une moins haute température moyenne, et par conséquent d'un plus grand poids spécifique qu'à l'intérieur du générateur. La valeur absolue de ce terme dépend d'éléments analogues à celle de $p - p'$; à cause du facteur h, elle est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus grande que le tuyau de communication d'eau est greffé plus bas sur le générateur.

(*) Dans certaines installations (par exemple à la raffinerie C. Say, dont les chaufferies sont largement aérées), on voit nettement cette distillation se produire dans la partie supérieure des tubes de verre.

Enfin, le terme $\zeta\pi'$, essentiellement positif, croit avec l'importance des condensations dans le système et avec les résistances que rencontre l'écoulement de l'eau du tube au générateur.

Maintenant, nous avons admis qu'on pouvait considérer approximativement l'eau contenue dans la chaudière comme étant au repos. Cette hypothèse n'est évidemment pas admissible avec toutes les dispositions de chaudières et de tubes indicateurs ; lorsqu'elle ne peut être conservée, l'étude du phénomène se complique singulièrement.

Lorsqu'il s'agit d'un générateur horizontal à bouilleurs, et d'un tube de verre dont le tuyau de communication d'eau, au lieu d'être greffé directement sur le corps principal, prend origine sur l'un des bouilleurs, les opinions diffèrent sur la question de savoir si l'influence perturbatrice prépondérante est celle des courants auxquels est soumise l'eau des bouilleurs, ou celle des différences de densité qui existent entre l'eau contenue dans la tuyauterie et l'eau de la chaudière. Parmi les ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Roland tient pour la première explication, M. Schmidt pour la seconde (*).

Quoi qu'il en soit, l'on voit que sous l'action de ces causes complexes, z peut être, suivant les cas, positif ou négatif.

Dans une notice intitulée : *Résumé d'expériences faites pour démontrer les fausses indications que donnent les*

(*) *Compte rendu des séances du 17e congrès des Ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur*, tenu à Paris en 1893. Page 227, 25e *question*, Erreurs d'indication des tubes de verre.

niveaux d'eau à tubes de verre lorsqu'ils sont mal montés, MM. Lethuillier et Pinel ont publié sur ce sujet d'intéressants résultats d'essais. Ayant établi les connexions entre un tube de verre et sa chaudière soit d'une manière immédiate par communications courtes, soit d'une manière plus ou moins complexe par tuyaux longs et repliés, ils ont trouvé que la première disposition assurait seule des indications fidèles, et que dans les appareils indicateurs différemment montés, le niveau de l'eau s'écartait dans un sens ou dans l'autre du niveau dans la chaudière. Les con-

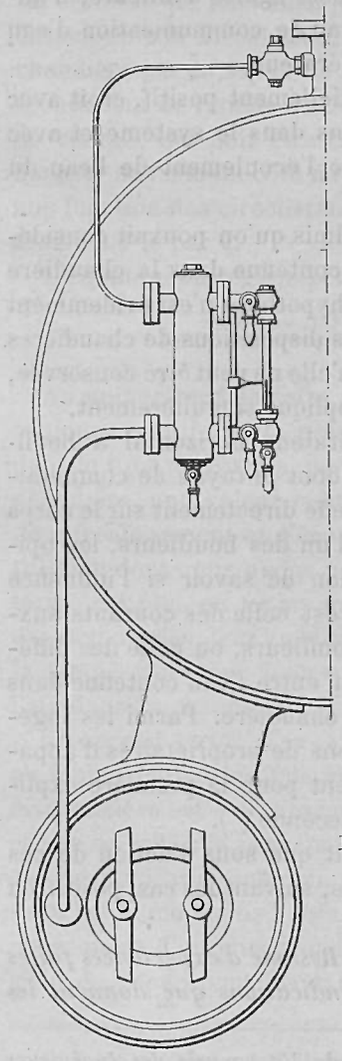


Fig. 8. — Expériences de MM. Lethuillier et Pinel.

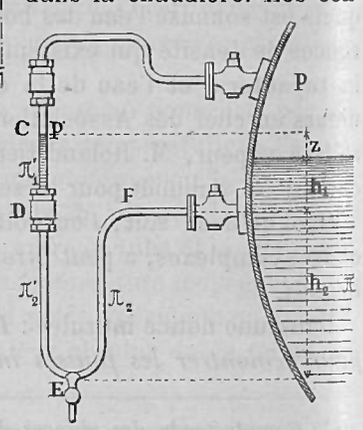


Fig. 9. — Expériences de MM. Lethuillier et Pinel.

sidérations théoriques présentées par MM. Lethuillier

et Pinel comporteraient quelques observations ; mais, s'attachant aux expériences elles-mêmes, on se rend aisément compte de leurs résultats en considérant la formule (2) ou une formule analogue, appropriée aux dispositions de chaque expérience.

Dans le cas de la *fig.* 8, qui correspond à l'une des séries d'essais des constructeurs rouennais, la formule (2) s'applique telle quelle (en supposant l'eau au repos dans la chaudière) ; $\pi - \pi'$ paraît être négatif, et comme ici h a une valeur considérable, le terme $h(\pi - \pi')$ prédomine et l'eau prend son niveau dans l'appareil indicateur au-dessous de son niveau dans la chaudière, au point d'être invisible dans le tube de verre lorsqu'un temps suffisant s'est écoulé depuis la dernière opération de purge. Dans les premiers instants qui suivent pareille opération, au contraire, la température de la branche se trouve relevée par le brassage récent des fluides, et l'eau s'élève dans le tube de verre au-dessus même du niveau réel.

Pour le cas de la disposition représentée *fig.* 9, qui est aussi l'une de celles expérimentées par MM. Lethuillier et Pinel, il faut modifier légèrement la formule (2). Appelant $h_1 + z$ et π_1', h_2 et π_2', h_2 et π_2 les hauteurs et les poids spécifiques moyens de l'eau correspondant aux parties de tuyau CD, DE, EF, on a

$$(3) \quad z = \frac{1000\,(p - p') + h_1\,(\pi - \pi_1') + h_2\,(\pi_2 - \pi_2') + \zeta\,\pi'}{\pi_1'}.$$

Le terme $h_2\,(\pi_2 - \pi_2')$ est naturellement positif, l'eau se refroidissant dans le tuyau à mesure qu'elle y progresse, et il est tout naturel que, dans ce cas, MM. Lethuillier et Pinel aient trouvé que l'eau se tenait dans le tube indicateur plus haut que dans la chaudière.

Ces notions acquises, il devient évident, comme nous l'avons annoncé, qu'un étranglement peut suffire pour fausser plus ou moins les indications du tube de verre. Si cet étranglement est à la partie inférieure, c'est ζ qui

prend une valeur exagérée (*) ; s'il est à la partie supérieure, c'est $p - p'$. Dans les deux cas, l'eau se tient dans le tube de verre plus haut qu'elle ne s'y tiendrait si l'étranglement n'existait pas.

Toutes les personnes qui s'occupent de chaudières à vapeur ont fait cette expérience, de réduire progressivement l'arrivée de la vapeur à un tube indicateur en manœuvrant le robinet de la monture supérieure du tube. Avec un peu d'adresse, on arrive à régler l'ouverture de façon à faire marquer à l'appareil tel niveau arbitraire que l'on veut au-dessus du niveau qui correspond à l'ouverture complète du robinet.

INFLUENCE DE LA LONGUEUR ET DE L'ÉTROITESSE DES COMMUNICATIONS D'EAU ET DE VAPEUR. — On a parlé jusqu'à présent des obstructions totales ou partielles dans les communications d'eau et de vapeur. Mais il résulte des explications qui viennent d'être données, qu'en dehors de ces circonstances anormales, la manière dont un tube de verre est relié à la chaudière peut influer sur ses indications. La longueur et l'étroitesse de la communication supérieure (tuyau de vapeur) exagèrent la hauteur d'eau; la longueur et l'étroitesse de la communication inférieure (tuyau d'eau) peuvent, suivant les cas, exagérer cette hauteur ou au contraire la diminuer, ainsi qu'on en a vu ci-dessus des exemples empruntés aux expériences de MM. Lethuillier et Pinel. Dans un appareil ayant une haute communication d'eau, en particulier, les indications du tube peuvent différer, d'une manière parfois importante, suivant que le tube vient d'être purgé ou ne l'a pas été depuis un certain temps ; dans lequel de ces deux cas ses

(*) Dans un travail déjà cité (19e *Bulletin* de l'Association parisienne), M. Compère cite un tube de verre dont les indications ont été trompeuses, parce qu'en s'abaissant dans sa monture il était venu étrangler le débouché de la tuyauterie.

indications se rapprochent-elles le plus de la vérité? c'est ce qui dépend de l'ensemble des dispositions de l'appareil.

Il convient donc que les tubes indicateurs soient directement greffés sur les chaudières par des communications courtes, droites et larges.

Cette conclusion a été celle de la discussion à laquelle il a été fait allusion plus haut, et qui a eu lieu à la suite d'une communication de M. Schmidt au 17e congrès des ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur (*).

DANGERS DE CERTAINS TRACÉS VICIEUX DE LA COMMUNICATION D'EAU. — A plus forte raison faut-il éviter, dans le tracé des communications d'eau, toute partie qui irait en montant vers la chaudière ; car, à supposer que celle-ci vienne à manquer d'eau, la simple considération de l'équilibre statique montre qu'il pourrait rester du liquide dans la partie basse de la communication, alors même que le niveau dans le générateur se serait abaissé d'une quantité quelconque au-dessous du point d'insertion de cette communication.

Non seulement les points bas et les inclinaisons dans le mauvais sens, mais même les parties rampantes sont à éviter dans le tracé des communications : car à la faveur de ces parties rampantes, si le niveau vient à baisser dans le générateur, il peut arriver que de l'eau reste dans la communication sous forme d'une sorte de piston liquide, dont la position d'équilibre dépend non seulement de la

(*) Au cours de cette discussion, M. Walther-Meunier a indiqué que dans la région de l'Association alsacienne, tous les tubes de verre ou les clarinettes qui les portent sont directement greffés sur les chaudières par communications courtes, sauf pour certains générateurs de types ou de provenances étrangers à la région; et que, grâce à ce montage rationnel, les inconvénients signalés sont entièrement évités. (*Loc. cit.*, p. 230.)

pesanteur, mais aussi des pressions de vapeur qui s'exercent sur ses deux extrémités.

Le phénomène n'est même pas aussi simple ; pour l'analyser complètement, il faut encore considérer que de l'eau arrivant par distillation dans le tube de verre s'ajoute continuellement à ce piston liquide du côté opposé à la chaudière ; cet apport se compense par un écoulement du liquide vers le générateur ; mais de là résulte, du côté du tube de verre, un accroissement de la hauteur d'eau, équivalent à la perte de charge de l'écoulement en question.

EXEMPLES DE L'INFLUENCE DES DISPOSITIONS VICIEUSES DES COMMUNICATIONS. — Il peut arriver, par suite d'un vice de ce genre, que le tube de verre continue à montrer de l'eau indéfiniment alors que la chaudière en manque. C'est ce qui a eu lieu dans le cas d'une chaudière à petits éléments qui a subi une surchauffe par manque d'eau, dans une usine d'électricité de Paris, le 1er juin 1888. Cet accident a été décrit par M. l'ingénieur en chef des mines Olry (*). Un autre exemple de ce défaut grave est fourni par la *fig.* 1, Pl. XVI. Le générateur, du type cylindrique à deux bouilleurs, dont le tube de verre était ainsi installé, a fait explosion par manque d'eau, dans une scierie située à Paris, le 13 septembre 1893. On remarquera à la fois le tracé vicieux de la communication d'eau et les longueurs excessives de l'une et l'autre communications. L'autre appareil indicateur du niveau de l'eau était constitué sur cette chaudière par un flotteur en pierre de meule, avec tige de suspension passant dans un presse-étoupes, levier et contrepoids. C'est un appareil dont le fonctionnement est fréquemment sujet à caution, soit

(*) *Annales des mines*, 8e série, t. XV, p. 372, et *Annales des ponts et chaussées*, 16e série, septembre 1889, p. 325.

qu'il n'y ait pas de milieu pour le presse-étoupes entre la fuite gênante ou le serrage exagéré, soit que l'axe soit paresseux ou que la meule s'effrite. L'accident s'est produit un matin, à la reprise du travail, ainsi qu'arrivent souvent les accidents de manque d'eau. La chambre de chauffe était une cave étroite, n'ayant d'autre issue qu'un escalier placé en face même du générateur. Le chauffeur a été brûlé mortellement.

Les *fig.* 2 et 3, Pl. XVI, représentent l'installation des appareils indicateurs du niveau de l'eau sur une chaudière qui s'est déchirée par suite d'un coup de feu par manque d'eau, dans une blanchisserie de rideaux, à Paris, le 1er avril 1893. Ces appareils consistaient en deux tubes de verre, indépendants l'un de l'autre, car le barillet sur lequel on les voit montés, et que l'on pourrait croire unique à l'inspection de la figure, est en réalité partagé en deux moitiés distinctes par une cloison diamétrale ; chacun des deux demi-barillets est relié à la chaudière par un système spécial de deux tuyaux de communication d'eau et de vapeur.

Si l'on compare le tracé de ces tuyaux à ce qu'il était dans l'installation représentée *fig.* 1, Pl. XVI, il semble que la situation fût moins mauvaise : les tuyaux étaient moins longs, et les tubes de verre étaient fixés à une hauteur relativement grande au-dessus des parties rampantes des tuyaux de communication inférieurs.

Pourtant, des détails fournis par l'enquête, il paraît bien résulter que l'un au moins des deux tubes de verre, celui de gauche, a fourni des indications qui ont induit en erreur. La chaudière avait été mise en service vers 7 heures du matin. Le chauffeur s'étant trouvé souffrant et obligé de quitter l'usine, l'appareil resta aux mains d'un autre ouvrier de la maison. Après la matinée et l'interruption de travail de l'heure du déjeuner, vers 1 heure, cet ouvrier s'aperçut que la pression ne se maintenait pas, et se trouva embarrassé pour la faire

monter. D'accord avec l'un des chefs de l'établissement, il s'en fut appeler le chauffeur d'une usine d'à côté.

Ce chauffeur vint, descendit à la chambre de chauffe ; au tube de verre de gauche, a-t-il dit, le niveau de l'eau vacillait, et à celui de droite on ne voyait presque rien. Il purgea ces tubes. Les témoins ne sont pas entièrement d'accord sur le résultat de la purge pour le tube de droite : l'un dit qu'il sortit de l'eau, l'autre qu'il ne sortit rien du tout, ce qui impliquerait que l'appareil de ce côté présentait quelque obstruction. Mais au tube de gauche, ils s'accordent à dire que la purge donna de l'eau, et le chauffeur venu en consultation ajoute que, lorsqu'il referma le robinet purgeur, l'eau s'éleva dans le tube d'une petite quantité. Alors, sans d'ailleurs examiner la tôle du coup de feu qui était peut-être déjà rouge, il pensa qu'on pouvait continuer à faire fonctionner la chaudière ; peu d'instants après, celle-ci se déchirait au coup de feu.

L'enquête a montré que le débouché des tuyaux de communication inférieurs dans la chaudière était en partie obstrué par les dépôts boueux ; de plus, le tuyau supérieur correspondant au tube de gauche avait, à son insertion sur le dôme, une garniture faite d'une façon particulière qui avait pu prêter aussi à quelque étranglement de l'orifice. Que l'on ajoute à ces circonstances le tracé des communications, particulièrement critiquable pour le tube de gauche, et l'on ne trouvera rien que d'admissible à ce que le mouvement des fluides, eau et vapeur, ait trouvé assez de résistances pour rendre plus ou moins fictif le niveau de l'eau dans les tubes et pour pouvoir y montrer, quand la chaudière était en manque d'eau, de l'eau de condensation constamment renouvelée ; admissible aussi que lorsque le tube a été purgé, au moins du côté gauche, l'eau de condensation emmagasinée dans le tuyau inférieur ait pu donner le phénomène de réapparition de l'eau dans le tube, que l'opérateur déclare avoir observé.

MANIÈRES DE S'ASSURER DU BON FONCTIONNEMENT D'UN TUBE INDICATEUR. — Nous venons de passer en revue plusieurs circonstances où il peut arriver qu'un tube de verre donne des indications erronées. Est-il possible, en prenant des précautions convenables dans la consultation du tube, de déjouer ces causes d'erreur ?

Lorsqu'on demande à un chauffeur comment il s'assure du bon fonctionnement de son tube indicateur, il répond fréquemment que c'est en regardant si l'eau oscille dans le verre. Il y a là en effet un signe, très inégalement perceptible d'ailleurs suivant les circonstances de chaque installation. Il peut arriver que la colonne liquide paraisse tout à fait immobile dans un tube en bon fonctionnement ; mais la question principale est celle-ci : arrive-t-il qu'elle oscille dans un tube dont les indications laissent à désirer ?

En cas d'obstruction *complète* de la communication du tube avec la chaudière, le niveau de l'eau dans le tube ne présentera généralement pas de mobilité ; cependant on peut à la rigueur concevoir que l'eau de condensation, provenant de la distillation qui s'opère dans la communication supérieure et le haut du tube, et tombant sur la surface du liquide, puisse produire un léger mouvement susceptible d'être pris pour une oscillation du niveau. Quant à une obstruction incomplète, il est clair que, tout en offrant une résistance aux oscillations, elle peut ne pas suffire à les éteindre entièrement. Mais surtout, les causes d'altération du niveau dues au jeu des pressions, aux différences de densité, etc., n'ont rien d'incompatible avec des fluctuations du liquide dans le tube de verre.

Le critérium indiqué ne suffit donc pas.

Le procédé le plus efficace pour vérifier si un tube de verre est en bon état de fonctionnement, c'est de le purger. Le plus généralement, en pratique, le chauffeur procède à cette opération en ouvrant pendant quelques instants le robinet de purge inférieur, mais sans toucher aux

robinets des montures inférieure et supérieure du tube. Ainsi faite, et pourvu qu'elle soit accompagnée des observations convenables, la purge est efficace pour déceler une obstruction complète du tuyau de communication inférieur; elle ne le serait pas nécessairement pour révéler une obstruction qui aurait son siège à la base du tube, comme par exemple, sur les croquis *fig.* 1 et 2 ci-dessus, une obstruction produite en A par le caoutchouc de la garniture; dans ce cas, en effet, la purge donnerait en abondance de l'eau directement empruntée au tuyau de communication inférieur, et d'autre part le verre montrerait de l'eau une fois le purgeur refermé. Cet exemple suffit à montrer que la purge ainsi faite ne pare pas à tous les risques d'erreur; elle est surtout bonne pour amener, dans les tuyaux de communication et généralement dans l'ensemble de l'appareil, une chasse ordinairement propre à empêcher l'accumulation des dépôts.

Mais le meilleur procédé pour vérifier par la purge l'état d'un tube indicateur consiste à laisser fonctionner le robinet purgeur pendant deux phases successives, l'une pendant laquelle le robinet de la monture inférieure est ouvert et celui de la monture supérieure fermé, l'autre pour laquelle ces deux robinets occupent les positions inverses. En opérant ainsi, et laissant dans chaque phase le robinet de purge fonctionner un temps suffisant pour être sûr de constater un phénomène permanent, on a une vérification de la liberté des communications de l'ensemble de l'appareil, aussi complète qu'il est possible de l'obtenir en marche.

Cette vérification indique que les communications sont libres, en ce sens qu'elles ne sont bouchées nulle part; il n'en résulte pas la preuve qu'elles n'offrent nulle part d'étranglement, moins encore qu'elles ne présentent point de dispositions vicieuses résultant de leur tracé, de leur longueur, etc. Aussi ne pourrait-on pas dire sous une

forme générale et absolue que les purges méthodiques préviennent toute fausse indication des tubes de verre; mais elles préviennent ou décèlent toute indication sérieusement défectueuse de la part d'un tube bien constitué et relié à la chaudière par des communications larges et courtes.

NÉGLIGENCES DANS L'EMPLOI DU TUBE. — Malheureusement, en l'état actuel du service de beaucoup d'usines, ni les purges ne sont faites aussi méthodiquement qu'il conviendrait, ni elles n'ont lieu à intervalles de temps suffisamment réguliers et courts (*), ni même, il faut le dire, l'emploi général et la surveillance courante du tube de verre ne sont toujours assez vigilants. On trouve trop d'établissements où soit l'emplacement de la chaudière, soit les fonctions de l'ouvrier qui la conduit, se prêtent mal à une consultation suffisamment répétée du tube de verre; parfois même le tube est plongé dans une obscurité habituelle.

Les explosions par manque d'eau, ainsi qu'on l'a rappelé ci-dessus, se produisent souvent le matin, à la reprise du travail. Lorsqu'une chaudière au repos se refroidit, le niveau de l'eau s'y abaisse naturellement par suite de la contraction du liquide: accoutumé à ce phénomène, un chauffeur insuffisamment prévenu des dangers à craindre peut être tenté, à la suite d'une interruption de travail, de refaire son feu sans voir d'eau dans le tube indicateur et sans avoir vérifié d'une manière absolument certaine la position du niveau réel, comptant que l'eau va remonter dans le tube à mesure qu'elle se dilatera. Pareille manière d'opérer serait une

(*) M. Sauvage enseigne aux mécaniciens de chemins de fer que le robinet de purge doit être ouvert au moins une fois toutes les heures (*La machine locomotive*, p. 68).

imprudence d'autant plus grave, que la chaudière a pu être exposée, pendant l'interruption de travail, à quelque cause accidentelle de vidange. Jamais la chauffe interrompue ne doit être reprise sans que le niveau réel de l'eau soit vérifié d'une manière certaine, et il ne suffit pas à cet effet de constater que l'eau se montre dans le tube de verre : il faut vérifier si cette indication est fidèle, en purgeant le tube méthodiquement, et en consultant judicieusement les robinets de jauge si la chaudière en possède (*).

Il arrive parfois que le tube de verre se brise; c'est évidemment un accident qu'on ne peut éviter d'une manière complète, aussi doit-on avoir toujours des tubes et des garnitures de rechange; mais la fréquence de ce bris est essentiellement inégale suivant que les choses sont bien ou mal organisées. L'emploi des tubes de verre sur les chaudières des locomotives, qui fonctionnent maintenant à haute pression, et où ils sont plus ou moins exposés aux intempéries, montre bien que le tube de verre n'est pas par lui-même et d'une manière générale un appareil aussi délicat que certains industriels sont tentés de le croire ; mais sa fabrication laisse parfois à désirer (**), ou bien l'on se sert de tubes d'un mauvais diamètre, quelquefois trop longs; les montures sont imparfaitement centrées, ou encore on ne sait pas protéger l'appareil

(*) Dans son traité-catalogue, la Cie Babcock et Wilcox dit : « Le premier soin d'un chauffeur, avant d'allumer ses feux ou à la reprise de son travail, doit être de vérifier si le niveau de l'eau dans la chaudière est convenable. Il ne doit pour cela s'en rapporter ni aux tubes indicateurs en verre, ni aux flotteurs à sifflet, mais uniquement aux robinets de niveau d'eau. Si ceux-ci ne sont pas d'accord avec les autres appareils, il faut en rechercher la cause et y remédier sans délai. » (*La vapeur*, etc., p. 117.) On ne saurait trop approuver ces sages avis.

(**) Les tubes pour chaudières à haute pression réclament spécialement des conditions de fabrication appropriées.

contre certains courants d'air capables de faire varier brusquement la température; pour ces diverses causes, les bris se multiplient, et l'on est porté à délaisser l'emploi de l'appareil de sûreté.

Il faut absolument que les usagers des chaudières à vapeur se gardent d'une pareille tendance et en gardent leur personnel. En signalant les mécomptes que peut donner parfois le tube indicateur, s'il est mal disposé ou en mauvais état, notre but a été que l'on pût rendre complètes les garanties données par l'observation de cet appareil; mais ces garanties seraient vaines si, d'autre part, on ne rendait pas irréprochable cette observation elle-même.

DE QUELQUES MESURES

PROPRES A AUGMENTER

LA SÉCURITÉ DE L'EMPLOI

DES

CHAUDIÈRES A PETITS ÉLÉMENTS

Par M. C. WALCKENAER, Ingénieur des mines.

Durant l'ensemble des deux années 1891 et 1892, 50 accidents sont arrivés, en France (Algérie comprise), aux chaudières à vapeur proprement dites employées par l'industrie. Ces 50 accidents ont fait 26 morts et 23 blessés, en ne comptant que les blessures ayant occasionné plus de 20 jours d'incapacité de travail. Dans ces totaux, les chaudières à petits éléments, dites aussi multitubulaires, ou *à petits tubes bouilleurs*, ainsi que les a désignées la statistique officielle, entrent pour 13 accidents, 4 morts et 4 blessés.

La proportion afférente à ces chaudières est donc, pour ces deux années, 26 p. 100 quant au nombre des accidents, ou 16,3 p. 100 quant au nombre des victimes.

Leur effectif est loin de correspondre non seulement au premier, mais même au second de ces rapports.

En effet, durant ces deux années, les chaudières placées à demeure sur le territoire français et algérien, non compris celles des chemins de fer ni des bateaux à vapeur, ont été en moyenne au nombre de 53.854, dont 1.792 à petits tubes bouilleurs. C'est une proportion de 3,3 p. 100.

A la vérité, il faudrait, pour une exacte comparaison avec la statistique des accidents, tenir compte des chaudières des chemins de fer et des bateaux de la marine du commerce ; mais la modification qui s'ensuivrait ne changerait rien au sens de notre observation.

La situation mise en évidence par ces chiffres n'est pas particulière aux deux années considérées. Pour les trois années précédentes, 1888-1890, les moyennes annuelles avaient été les suivantes :

	CHAUDIÈRES PROPREMENT DITES		TOTAL
	A petits éléments	Autres types	
Accidents	4,7	20,3	25,0
Tués	4,7	16,3	21,0
Blessés grièvement	1,7	12,0	13,7

Le contingent relatif aux chaudières à petits éléments avait donc dépassé 18 p. 100, tant pour le nombre des accidents que pour celui des victimes; cette proportion est encore évidemment très supérieure à celle que pouvait atteindre l'effectif de cette classe de chaudières.

Ce n'est pas seulement en France qu'il en a été ainsi : il paraît en avoir été de même, à des degrés divers, en Allemagne et en Belgique, ainsi que l'a indiqué M. Vinçotte au quatorzième Congrès des ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, tenu à Marseille en 1890.

Or, c'est là une situation défectueuse, à laquelle on ne saurait se résigner. Les raisons de sécurité ont été pour beaucoup dans le développement pris par l'emploi des chaudières à petits éléments, et il exact, remarquons-le, que ces chaudières excluent d'une manière que l'on peut rendre presque absolue l'éventualité des accidents à

grands effets dynamiques. Un accident de cette catégorie ne pourrait résulter que de l'explosion d'un des gros éléments, tels que les réservoirs supérieurs, qui entrent dans la constitution de ces chaudières; mais ces gros éléments, souvent placés totalement hors du contact des gaz du foyer, ne sont point en tout cas la partie la plus active de la surface de chauffe, et il est possible de les disposer de manière que la surveillance et l'entretien en soient faciles. Quant aux avaries auxquelles sont sujets les tubes bouilleurs, elles ne s'accompagnent que de peu ou point d'effets dynamiques, et ne menacent nullement de porter au loin la destruction.

Mais pour qu'il y ait progrès, il ne faut pas que ces avantages considérables soient achetés au prix d'une suite d'accidents de détail dont la répétition aboutisse, pour une même quantité de vapeur produite, à faire autant ni surtout plus de victimes que les accidents plus destructeurs parfois, mais plus rares, des chaudières à grands corps.

Afin d'échapper à une pareille conséquence, il convient, semble-t-il, de s'attacher à réaliser des progrès de deux sortes dans l'emploi des chaudières à petits éléments : les uns ayant pour objet de diminuer la fréquence des accidents, les autres d'en rendre les conséquences inoffensives pour les personnes. Envisageons successivement ces deux faces de la question.

I.

Les mesures ayant pour objet de diminuer la fréquence des accidents sont évidemment, d'une manière générale, les mesures de bonne construction, de bon entretien et de bonne conduite des générateurs. Mais dans chacun de ces ordres d'idées, certains points ont une importance spéciale lorsqu'il s'agit de chaudières à petits éléments.

C'est ce dont on se rendra compte en faisant, au point de vue particulier de cette classe d'appareils, l'examen des causes les plus fréquentes d'accidents.

Dans une communication faite, en 1893, à la Société des ingénieurs civils (*), M. Compère a donné un classement par causes de tous les accidents arrivés en France à des chaudières à petits éléments jusqu'en 1891. Conservé dans son cadre, mais complété par l'addition des données relatives aux années 1892 et 1893, cet intéressant classement devient le suivant :

				ACCIDENTS	VICTIMES		
					Tués	Blessés	Total
Déchirures de tubes	Tubes vaporisateurs	Manque d'eau	Par défaut d'alimentation (**)	11	4	16	20
			Par obstruction	7	2	2	4
		Cas divers		5	2	2	4
	Tube de raccordement	Corrosion extérieure		1	»	1	1
	Tubes surchauffeurs	Chaudières où le haut du faisceau tubulaire n'est pas rafraîchi intérieurement		6	3	7	10
		Corrosions extérieures		1	1	»	1
Projection de bouchons ou de boîtes de connexion (dans 5 cas on serrait en marche)				11	11	14	25
Mauvais montage de chaudière				1	3	»	3
Totaux				43	26	42	68

Passons en revue les principales de ces causes.

(*) *Recherches sur les causes des accidents des chaudières multitubulaires.* Août 1893.

(**) Sous cette rubrique a été compris un accident de chaudière De Naeyer survenu à Calais le 20 mai 1893 et ayant fait 9 blessés; la cause n'en a peut-être pas été entièrement élucidée, mais la Commission centrale des machines à vapeur a considéré comme très vraisemblable qu'il avait été déterminé par un défaut d'alimentation.

Contre l'éventualité des coups de feu par défaut d'alimentation, il est d'autant plus nécessaire de se prémunir, que les chaudières de cette classe contiennent moins d'eau. A ce point de vue, les générateurs à petits éléments dont la conduite est le plus facile sont, en principe, ceux dont le faisceau vaporisateur est surmonté d'un réservoir, mi-partie plein de liquide, d'une large capacité. Dans les types où il n'en est pas ainsi, la constitution et le fonctionnement irréprochables des appareils destinés à assurer l'arrivée de l'eau alimentaire au fur et à mesure du besoin, prennent une importance capitale.

Nous relevons dans le travail cité de M. Compère les conclusions suivantes, au sujet de l'alimentation des chaudières multitubulaires :

« Bien vérifier la marche des appareils d'alimentation, pompes, petits chevaux, injecteurs, etc. ;

« Ne jamais fermer en marche, autant que possible, dans les générateurs Belleville, le robinet gradué d'alimentation ;

« Ne pas employer le même petit cheval pour alimenter à la fois un générateur multitubulaire à haute pression et un générateur à pression moindre ».

On ne peut qu'approuver ces règles judicieuses et importantes.

Passons aux manques d'eau partiels résultant d'obstruction. Il est évident que c'est encore un genre d'inconvénients auquel la disposition générale des chaudières à petits éléments prête d'une façon particulière. Pour en atténuer le plus possible l'importance, le constructeur fait bien de rendre le système de la circulation simple et facile, d'éviter toutes les parties rétrécies ou les ajutages de faible diamètre, de garantir les communications et les parties tubulaires contre les accumulations de dépôts, de faire visitables et nettoyables d'une

manière totale et facile toutes les parties du générateur. L'usager, à son tour, doit éviter le plus possible les causes d'entartrement et d'embouage ; les nettoyages doivent être complets et suffisamment fréquents, les vidanges judicieusement réglées.

Un cas d'obstruction instructif, en même temps que fort triste, car il a causé mort d'homme, est celui d'une chaudière à petits éléments dont un tube s'est déchiré à Clichy, le 29 novembre 1889. Nous n'avons pas à y revenir, car cet accident, causé par l'usage malencontreux d'un *désincrustant* solide, a été décrit par M. Olry (*).

A plusieurs reprises, des manques d'eau partiels ont affecté des chaudières à petits éléments : dans tel cas (26 décembre 1891), il a été constaté qu'il s'agissait de la conséquence d'un entartrement, qui avait encombré la communication de l'un des éléments du faisceau tubulaire avec le réservoir supérieur ; il est aussi d'autres cas où aucune constatation de cette nature n'a été faite, et où l'insuffisance de circulation qui a produit la surchauffe paraît surtout se rattacher à ce que la vaporisation a été trop active eu égard aux dispositions de l'appareil.

C'est là un ordre de faits que le classement ci-dessus n'a pas distingué d'une manière explicite, mais dont l'influence, parfois difficile à discerner dans un cas donné, ne paraît pas douteuse d'après l'ensemble des faits observés. Si l'on demande une vaporisation trop active à certaines chaudières à petits éléments, il peut arriver que le renouvellement de l'eau dans les parties actives de la surface de chauffe ne soit plus suffisamment bien assuré par le système circulatoire de l'appareil, et alors, soit par cette seule cause, soit parce que la circulation rendue pour ainsi dire instable devient exagérément sensible

(*) *Annales des mines*, 8e série, t. XVIII, p. 628, et *Annales des ponts et chaussées*, 7e série, mars 1891, p. 434.

à toute cause de perturbation accessoire, il arrive un moment où une partie de la surface de chauffe n'est plus assez rafraîchie par l'eau, et un coup de feu s'ensuit.

Aux règles qui doivent présider à l'usage des chaudières de cette classe, on doit donc ajouter celle-ci, qu'il faut toujours en conduire les feux avec une suffisante modération, eu égard aux facilités du renouvellement et de la circulation de l'eau dans le faisceau des tubes bouilleurs.

La proportion des accidents de chaudières à petits éléments a été particulièrement forte dans le département de la Seine : pendant les dix ans 1884-1893, ce département a compté 29 accidents de chaudières qui ont fait 14 morts et 13 blessés; dans ces totaux, les chaudières à petits éléments entrent pour 14 accidents, 6 morts et 6 blessés, soit pour à peu près la moitié des accidents et des victimes. Or, à cette proportion particulièrement forte, on peut apercevoir quelques raisons qui confirment l'observation précédente. Le développement des chaudières à petits éléments dans ce département, et, en particulier dans Paris, a coïncidé avec l'extension prise par l'éclairage électrique. Presque toutes les installations génératrices d'électricité ont été placées à l'intérieur même de la ville; elles n'ont pu l'être que moyennant l'emploi de chaudières incapables de menacer non seulement la sécurité du voisinage, mais même celle des édifices dans lesquels les chaudières, dans beaucoup de cas, étaient placées. On a donc visé à rendre maximum l'innocuité des chaudières sous le rapport des grands accidents, et on y a parfaitement réussi. Qu'on ait, en même temps, rendu maximum la fréquence des accidents de détail, c'est ce qu'on comprend, d'une manière générale, eu égard aux diverses explications qui précèdent; mais, en particulier, nous pensons qu'il faut faire ici intervenir les excès de vaporisation qu'on a parfois, selon

toute apparence, imposés aux chaudières dans le service de ces usines neuves.

Continuant de passer en revue les causes inscrites au tableau de la page 537, nous trouvons un cas de corrosion extérieure d'un tube de raccordement, dont il sera instructif d'indiquer sommairement les circonstances.

Cet accident est survenu, le 8 avril 1892, dans une usine d'électricité, à Paris. Il s'agit d'une chaudière Babcock et Wilcox qui n'avait pas plus de 100 jours de service depuis son installation. On sait que, dans les générateurs de ce système, les collecteurs ondulés Æ sont reliés aux réservoirs supérieurs d'eau et de vapeur par des tubes de raccordement, ayant même diamètre que les tubes vaporisateurs, et dont chacun est dudgeonné, d'une part, dans l'about supérieur du collecteur correspondant, d'autre part, dans une pièce moulée fixée au-dessous du réservoir supérieur. Or, le long d'un des tubes de raccordement avait coulé l'humidité d'une fuite provenant, selon toute apparence, de l'assemblage dudgeonné de l'extrémité supérieure de ce tube. Cette humidité, au contact des gaz du foyer et des suies, avait si profondément gravé le tube, que sur les lèvres de l'ouverture qui s'est produite le métal restant était mince et coupant comme une lame. Les *fig.* 8 et 9, Pl. XVII, montrent comment le tube s'est ouvert tout en se repliant sur lui-même et sortant de ses emmanchements terminaux ; on y a porté l'indication de quelques épaisseurs relevées le long des bords de la déchirure. Cet accident démontre combien il importe que les visites des générateurs soient complètes et efficaces, et qu'aucune fuite ne soit négligée.

Il reste, pour achever de passer en revue les causes les plus fréquentes d'accidents inscrites au tableau de la page 537, à parler des ouvertures de tubes surchauffeurs et des projections de bouchons.

Les ouvertures de tubes surchauffeurs se sont surtout

produites en dehors du département de la Seine, et sur des chaudières de formes spéciales. Comme l'a remarqué M. Compère (*), « elles sont dues à ce que le faisceau tubulaire de ces chaudières n'était pas noyé complètement ; en effet, dans ces chaudières, les tubes supérieurs, qui ne contiennent que de la vapeur, ne sont pas rafraîchis par une circulation active, comme cela a lieu dans la chaudière Belleville, la seule dont l'élément forme serpentin et dans laquelle une bulle de vapeur produite à l'intérieur de l'un des tubes est obligée de parcourir tous ceux qui se trouvent au-dessus pour se dégager... Ces ruptures de tubes surchauffeurs montrent donc la nécessité, dans les chaudières multitubulaires autres que les générateurs Belleville, de reporter le niveau de l'eau dans les corps supérieurs ».

Enfin, les projections de bouchons, dont le département de la Seine n'a vu qu'un seul exemple, mais qui ailleurs ont été relativement très nombreuses et funestes, enseignent au constructeur que les dispositions autoclaves sont préférables, et aux usagers qu'il est dangereux de resserrer les joints d'une chaudière en pression, ainsi que d'agir sur les écrous de serrage avec des clefs de trop grande longueur.

II.

Passons maintenant aux mesures propres à rendre autant que possible inoffensives pour les personnes, les avaries auxquelles sont le plus souvent sujettes les chaudières à petits éléments.

Cette seconde partie du programme que nous nous sommes tracé ne doit pas être négligée. Car, quoi que

(*) *Loc. cit.*

l'on fasse, les chaudières de cette classe auront toujours un moindre volume d'eau, une plus grande facilité d'obstruction, une circulation plus délicate, des joints plus nombreux que la plupart des chaudières à grands corps. Mais le problème serait parfaitement résolu, si, tout en faisant le nécessaire pour rendre les avaries attribuables à ces causes aussi rares que possible, on réussissait à les rendre inoffensives.

Or, dans une large mesure, on doit pouvoir y réussir. Car, lorsqu'un tube bouilleur ou surchauffeur vient à s'ouvrir, ou lorsqu'un bouchon se détache, il ne se produit pas d'effets dynamiques importants ni généralement lointains ; le plus souvent tout se borne au déversement d'un flux de vapeur, mêlé de plus ou moins d'eau chaude et parfois de gaz du foyer ; ce flux complexe pénètre dans la chaufferie par les ouvertures ou les parois faibles que lui présentent les portes du foyer, du cendrier, de la boîte à tubes ; souvent quelques instants suffisent à en dissiper la bouffée. C'est pourtant ce simple jet de fluides chauds qui est dans la plupart des cas l'agent meurtrier : il suffit qu'il souffle sur les chauffeurs pour que ceux-ci soient atteints de brûlures presque toujours graves et trop souvent mortelles.

Or, c'est essentiellement là une situation vicieuse, à laquelle on ne peut se résigner. Il doit en effet être possible de préserver les chauffeurs contre l'atteinte de ces bouffées, surtout dans deux circonstances :

1° Lorsqu'elles proviennent d'orifices peu étendus, comme lorsqu'un tube se déchire ou qu'un joint de tampon cède ;

2° Lorsqu'elles proviennent d'appareils qui ne renferment que de faibles réserves d'énergie, tels que les chaudières en manque d'eau.

Or c'est pratiquement toujours avec la première de ces circonstances, et parfois avec les deux ensemble, qu'appa-

raissent les accidents de chaudières à petits éléments.

Avec les dispositions actuelles de presque toutes les chaudières à vapeur, multitubulaires ou non, les chauffeurs, loin d'être garantis contre les flux de ce genre, y sont particulièrement exposés. Le fourneau offre en effet du côté de la chaufferie les issues les plus faciles pour les fluides provenant en particulier d'une déchirure produite dans la région du coup de feu : portes de foyer s'ouvrant vers la chaufferie et fréquemment dépourvues de loquets ; ouvertures du cendrier généralement béantes ou sans fermeture stable ; pour les chaudières à petits éléments, portes de boîtes à tubes plus ou moins imparfaitement loquetées.

Il faudrait au contraire barrer ces chemins d'issue à la vapeur et aux gaz du foyer.

Pour les ouvertures de chargement des foyers, on ne peut en modifier radicalement les dispositions actuelles qu'en recourant aux foyers dits à combustion méthodique ou autres systèmes spéciaux, dont l'étude est intéressante mais complexe, dont certains types, après avoir séduit les théoriciens, ont montré en pratique des défauts et même parfois des dangers, et qui sont jusqu'à présent peu répandus. Mais on peut du moins sans difficulté, dans le système courant des foyers, munir les ouvertures de chargement de portes qui, en dehors des temps de chargement, sont invariablement fixées dans la position de fermeture. A cet effet, en principe, il pourrait suffire d'un verrou, si verrou et charnière étaient solides. Mais on peut mieux faire. On trouvera (*fig.* 1 à 3, Pl. XVII), les dessins d'une porte s'ouvrant vers l'intérieur du foyer, qui est appliquée par M. Webb aux foyers de locomotives, et dont il est fait application en France sur le réseau des chemins de fer de l'Ouest. Plusieurs chaudières Babcock et Wilcox qui fonctionnent à Paris, sont munies de portes s'ouvrant d'une manière analogue. Les *fig.* 4 et 5, Pl. XVII, indiquent les dispositions récemment adoptées dans le même ordre d'idées par MM. Delaunay-Belleville et C^ie^. Des portes ainsi disposées, tant qu'elles sont fermées, donnent une fermeture autoclave, et une bouffée de pression se produisant dans le foyer tend à les appliquer sur leur cadre et non à les ouvrir. On a ainsi plus de sécurité qu'avec les verrous ou les clenches.

Pour les ouvertures de cendriers, le problème est susceptible d'une solution radicale. Cette solution consisterait à barricader complètement la devanture jusqu'au sol, en y conservant seulement, s'il y a lieu, une porte solidement barricadée qu'on ouvrirait de temps à autre pour le tirage des cendres et des crasses ; on pourrait encore ménager dans cette porte, si c'est nécessaire, quelques regards, habituellement fermés d'une manière robuste, et destinés à introduire le ringard pour piquer le dessous de la grille. Quant à l'introduction de l'air destiné à la combustion, rien n'oblige à le faire entrer par la devanture. Il est facile de l'amener, par exemple, par un carneau latéral ou inférieur.

On a proposé de laisser subsister l'ouverture du cendrier sur la devanture, mais d'en disposer la porte mobile de manière qu'elle tende à se fermer sous l'influence de la moindre pression intérieure au cendrier, et soit toujours libre de le faire. Les *fig.* 6 et 7, Pl. XVII, indiquent une disposition combinée par MM. Delaunay-Belleville à cette intention. Il est difficile de dire si un pareil dispositif serait d'un fonctionnement réellement efficace, et ne serait pas en tous cas sujet dans la pratique à quelques causes de dérangement.

Enfin, en ce qui touche les portes de boîtes à tubes des chaudières à petits éléments, rien n'est plus aisé en principe que de les barricader solidement ; il y a seulement à prendre les précautions nécessaires pour que la fermeture soit permanente et robuste. La pression inté-

rieure au fourneau, en cas de rupture de tube, a parfois été assez forte pour fausser des crémones, ou pour faire sauter des portes par-dessus leurs gonds. Les pièces de maintien doivent être disposées en conséquence de cette remarque. Il convient, d'autre part, que la fermeture soit assurée par une pièce dont la mise en place ne prête à aucune incertitude et soit d'une surveillance facile : on peut par exemple, sur une porte déjà fermée au moyen d'une crémone, appliquer comme organe de renforcement une barre transversale solidement engagée à ses extrémités dans des tenons solidaires des armatures du fourneau. Un pareil dispositif est robuste, et il est facile au personnel supérieur de s'assurer si les chauffeurs le mettent régulièrement en place. Un inconvénient des crémones est qu'elles ne sont pas toujours bien en prise, et que leur position exacte ne s'apprécie pas d'un coup d'œil.

En aucun cas, les portes de boites à tubes ne doivent être ouvertes au cours du fonctionnement de la chaudière, et moins que jamais si une fuite se fait entendre.

Le 19 octobre 1886, dans une installation servant à l'éclairage d'un hôtel, à Paris, le mécanicien et le chauffeur ayant entendu, dans le fourneau d'un générateur Belleville, de la vapeur s'échapper par des trous de chevilles fusibles, l'un d'eux s'arme pour poser des chevilles neuves et ouvre les portes de devanture : les chevilles avaient fondu parce que la chaudière était en manque d'eau, un tube bouilleur se déchire à ce moment, et les deux ouvriers sont mortellement frappés par le flux brûlant.

Ce que nous venons de dire des grandes portes de boites à tubes s'applique évidemment aussi aux ouvertures de ramonage ou autres, et, en dehors même des chaudières à petits éléments, aux panneaux de boîte à fumée des chaudières à retour de flammes, etc.

Maintenant, il ne suffit pas de fermer et de barricader ces diverses ouvertures. Il faut évidemment que le fourneau, s'il est envahi par une bouffée de pression, offre à cette bouffée un écoulement suffisamment facile, et par ailleurs une solidité générale suffisante, pour prévenir le danger d'éclatement du fourneau lui-même. Comme les carneaux de fumée peuvent être insuffisants pour cet objet, soit par suite de leurs dispositions, soit parce qu'ils peuvent se trouver au moment d'un accident plus ou moins étranglés par le registre, il est généralement nécessaire que le fourneau présente une « paroi faible » par où la bouffée s'en ira dans une direction inoffensive. Mais ceci n'infirme à aucun degré les considérations émises plus haut, car il serait évidemment absurde de dire que cette paroi faible est bien placée du côté du chauffeur. Il faut que cette paroi faible soit ailleurs, dans un emplacement et avec des dispositions telles, que la bouffée puisse l'ouvrir et y prendre issue sans qu'il en résulte, sous aucune forme, de danger pour les personnes.

Fermeture au flux brûlant de l'accès de la chambre de chauffe, facilité offerte à ce flux de s'écouler sans nuire : ce sont là deux parties d'un même programme, qui ne doivent pas être séparées. Une voie de dégagement du flux qui serait inefficace si le fourneau présentait par ailleurs des parties faibles, peut suffire si le fourneau est suffisamment résistant ; comme d'un autre côté la solidité du fourneau, si l'on n'assurait au flux un dégagement facile et inoffensif, pourrait en certains cas être plus nuisible qu'utile.

Les dispositions à prendre sont naturellement à étudier selon les appareils et les conditions d'installation. Nous ne voulons pas indiquer à cet égard de solution particulière, dont la description pourrait être prématurée. Les règles de l'art se préciseront sur ce sujet encore nouveau. Mais il est nécessaire qu'un courant d'opinion se déter-

mine en faveur de précautions qui s'imposent : on ne peut se résigner à voir les chaudières multitubulaires, si heureusement appropriées à la suppression des grands accidents, tuer du monde en détail par des phénomènes dont l'amplitude est restreinte et dont les conséquences doivent pouvoir être maîtrisées.

Des remarques analogues s'appliquent à n'importe quelle espèce de chaudière, relativement à certaines catégories d'accidents. Ainsi, pour toutes les chaudières à foyer extérieur où un coup de feu par manque d'eau n'a chance de se produire que lorsque l'appareil est à peu près vide (*), les conséquences du coup de feu par manque d'eau, accident si fréquent, se bornent, dans la grande majorité des cas, au déversement dans la chaufferie d'un flux d'eau et de vapeur. Il en est de même, pour les chaudières tubulaires, des ruptures de tubes à fumée. D'une manière générale, la statistique montre que c'est le plus souvent *par brûlures* que périssent les victimes des accidents de chaudières à vapeur. L'ordre de précautions que nous venons d'indiquer n'a donc pas son champ d'application exclusivement limité aux générateurs à tubes bouilleurs.

Pour le cas où, malgré ces précautions, un flux de vapeur, d'eau ou de gaz brûlants viendrait à se faire jour dans une chaufferie, il est enfin nécessaire que celle-ci présente des issues faciles et une large aération. La statistique apprend que les accidents d'appareils à vapeur qui surviennent à bord des bateaux, où les chambres de chauffe sont étroites et souvent sans issues faciles, sont particulièrement graves dans leurs conséquences (**).

(*) Cette condition exclut, bien entendu, les chaudières dites à flammes renversées : aussi les conséquences des manques d'eau sont-elles particulièrement graves pour cette espèce de chaudières.

(**) Voir, à ce sujet, le travail cité de M. Compère.

L'expérience indique aussi qu'un chauffeur peut être perdu ou sauvé suivant qu'il a ou non, dans sa fuite, à se mouvoir dans le jet brûlant (*). Les conditions essentielles à réaliser au point de vue de l'emplacement des issues de la chambre de chauffe proprement dite sont les suivantes : il faut que le chauffeur surpris par un jet en provenance d'un générateur quelconque, puisse s'écarter à volonté soit vers la droite, soit vers la gauche, dans une direction parallèle à la façade du générateur, et que par ce mouvement il trouve tout de suite un chemin qui le conduise facilement au dehors sans repasser devant l'appareil.

(*) Le 29 novembre 1889, à Clichy, un tube bouilleur s'ouvre, par suite d'un coup de feu causé par obstruction à une chaudière à petits éléments ; deux hommes se trouvaient dans le local : le chauffeur, placé à droite du générateur, où il y avait une issue, cet homme est sain et sauf ; un ouvrier, qui travaillait du côté gauche, celui-ci, pour s'enfuir par une porte sise en face de la chaudière, traverse le flux brûlant ; il meurt des lésions reçues.

EMPLOI DE L'EAU OXYGÉNÉE

DANS LE

DOSAGE PONDÉRAL ET VOLUMÉTRIQUE

DU CHROME ET DU MANGANÈSE

Par M. ADOLPHE CARNOT, Inspecteur général des mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

L'eau oxygénée détermine, sur les solutions des divers métaux de la famille du fer, des réactions remarquables, qui peuvent être mises à profit dans l'analyse chimique.

Je n'ai qu'un mot à dire du *fer* : on sait que les composés ferreux sont toujours peroxydés par l'eau oxygénée, aussi bien dans une solution acide que dans une liqueur neutre ou basique. La peroxydation d'une solution ferreuse est immédiate soit à chaud, soit à froid, et se fait plus commodément par l'eau oxygénée que par tout autre réactif oxydant.

Je ne parlerai pas ici du *cobalt* et du *nickel*, que l'eau oxygénée peut aider à différencier (*).

Mais cette note sera spécialement consacrée aux actions diverses que l'eau oxygénée peut exercer sur les solutions de *chrome* et de *manganèse*, actions dont l'effet final peut être, suivant les cas, tantôt oxydant, tantôt réducteur, contrairement à ce qui a lieu pour les sels de fer.

(*) *C. R. Acad. des sciences*, 25 mars, 15 et 22 juillet 1889.

On verra que, dans une solution acide, l'acide chromique est entièrement réduit à l'état de sel de sesquioxyde de chrome, l'acide permanganique et les suroxydes de manganèse sont ramenés à l'état de sel de protoxyde de manganèse, tandis que, dans une liqueur alcaline ou ammoniacale, l'oxyde de chrome et le protoxyde de manganèse peuvent être intégralement convertis, l'un en acide chromique, l'autre en un oxyde salin de manganèse, voisin du peroxyde (*).

CHROME

I. — RÉDUCTION DE L'ACIDE CHROMIQUE. MÉTHODE DE DOSAGE.

L'acide chromique fournit avec l'eau oxygénée une réaction très remarquable, à laquelle est demeuré attaché le nom de Barreswil, consistant dans la coloration bleue qui se produit, dès que l'on mélange les solutions étendues et froides des deux substances. Cette réaction est caractéristique pour l'eau oxygénée; elle l'est également pour les chromates, à la condition d'y ajouter un très léger excès d'un acide fort, pour mettre l'acide chromique en liberté.

Cette coloration est assez fugitive; elle dure quelques minutes à peine, si la solution est presque neutre; elle disparaît au bout de quelques secondes, si elle renferme plus de 1/100 d'acide chlorhydrique ou sulfurique libre. Barreswil l'avait attribuée à la formation d'un acide perchromique instable (Cr^2O^7). Les expériences de M. Mois-

(*) *C. R. Acad. des sciences*, 10, 17 et 24 décembre 1888.

san avaient conduit ce savant à penser qu'elle est due à une combinaison d'acide chromique et d'eau oxygénée (CrO^3, H^2O^2). De nouvelles analyses de M. Berthelot (*) ont établi, comme très vraisemblable, que ce corps est, en réalité, une combinaison d'acide perchromique avec l'eau oxygénée (Cr^2O^7, H^2O^2), l'existence et la formule de l'acide perchromique étant d'ailleurs confirmées par des analogies frappantes de ce composé avec l'acide permanganique et avec l'acide persulfurique.

La réaction complète a pour résultat de décomposer à la fois l'acide chromique et l'eau oxygénée ; elle est accompagnée d'un dégagement d'oxygène correspondant à la somme des quantités abandonnées par les deux composés, qui sont ramenés à l'état d'eau et de sesquioxyde de chrome.

J'ai montré qu'en présence d'un excès d'acide chlorhydrique ou sulfurique, les proportions d'eau oxygénée et d'acide chromique réduits se correspondent d'une manière rigoureuse, conclusion qui a été, peu de temps après, confirmée par les expériences de M. Berthelot. Par un très délicat examen des faits observés et des mesures thermiques effectuées, l'illustre chimiste a réussi à expliquer le mécanisme de ce paradoxe apparent d'un composé oxydant, qui détermine des actions réductrices.

La réaction de Barreswil doit donc permettre, non seulement de reconnaître qualitativement la présence de l'acide chromique, même en très faible quantité, dans une solution neutre ou acide, mais aussi de réduire entièrement l'acide chromique, en un sel de sesquioxyde de chrome, à la condition d'employer une quantité suffisante d'eau oxygénée ; elle permet même d'en faire le dosage volumétrique si l'on opère en solution acide, puisque les

(*) *C. R. Acad. des sciences*, 1889.

quantités d'acide chromique et d'eau oxygénée se correspondent exactement.

Je vais indiquer les circonstances à observer et les précautions à prendre pour le *dosage de l'acide chromique* par *l'eau oxygénée*.

Lorsqu'on verse peu à peu de l'eau oxygénée dans une solution étendue d'acide chromique ou de bichromate, acidifiée par un peu d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique, on observe, après chaque addition nouvelle, la formation d'une tache brun-verdâtre de teinte sombre, qui ne tarde pas à disparaître ; plus tard, le liquide montre, au point où tombent les gouttes d'eau oxygénée, une coloration bleue, qui disparaît de même en peu d'instants, tandis que, peu à peu, la liqueur, colorée d'abord en jaune-rougeâtre, prend une teinte verte plus ou moins intense, due au sel de sesquioxyde de chrome.

La coloration bleue passagère cesse de se produire au moment où la liqueur ne renferme plus d'acide chromique.

La quantité d'eau oxygénée employée alors est exactement proportionnelle à la quantité d'acide chromique détruit et peut lui servir de mesure. Il suffira pour cela d'avoir titré l'eau oxygénée d'après une solution de bichromate de teneur connue.

Pour que la coloration bleue due à la formation du composé instable d'acide chromique et d'eau oxygénée soit suffisamment sensible à l'œil, il convient que la teinte verte finale du sel de chrome ne soit pas trop foncée et, pour cela, que la quantité d'acide chromique primitivement contenue dans la solution ne dépasse pas $0^{gr},10$ à $0^{gr},20$ au plus.

On fera en sorte que les volumes des liquides et les quantités d'acide chromique soient peu différents dans les deux expériences du titrage et du dosage, afin que les phénomènes de coloration soient bien comparables ;

cela est d'ailleurs assez facile à réaliser en se guidant sur les colorations des deux solutions de bichromate, que l'on peut rendre à peu près également intenses pour un volume égal.

Comme réactif, on prend de l'eau oxygénée très étendue, par exemple l'eau oxygénée à 10 volumes de gaz diluée de 10 parties d'eau pure. Elle présente, dans ces conditions, une très grande stabilité à la température ordinaire. On la verse, au moyen d'une burette graduée toute en verre, dans le vase à fond plat, où est la solution chromique, en tenant celui-ci à la main au-dessus d'un papier blanc et le faisant tournoyer pour mélanger les liquides.

Le titrage de cette eau oxygénée se fait au moyen d'une solution de bichromate de potasse, préparée à l'avance pour un grand nombre d'opérations, de manière à contenir exactement 1 gramme d'acide chromique par litre. Pour cela, on prend $1^{gr},469$ de bichromate de potasse pur, bien desséché ou fondu, qu'on dissout dans l'eau distillée ; on étend la liqueur jusqu'au trait marqué dans un flacon de 1 litre.

On pourrait également se servir d'une solution centinormale, obtenue en dissolvant dans 1 litre 1/100 du poids moléculaire de bichromate, Cr^2O^6, K^2O, c'est-à-dire $2^{gr},952$, contenant $2^{gr},0095$ d'acide chromique. La teneur de cette solution serait donc presque exactement double de celle de la solution précédente.

Pour un dosage, on prend de la solution chromique un volume mesuré, variable entre 5 et 50 centimètres cubes, suivant la quantité d'acide chromique à évaluer, que l'on apprécie à l'œil d'après la teinte de la liqueur acide ; on étend d'eau distillée, de façon à avoir toujours à peu près le même volume total de 50 centimètres cubes. On ajoute 2 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, puis on verse l'eau oxygénée d'abord par quantités de 5 centimètres

cubes à la fois, puis de 1 centimètre cube, jusqu'à ce que la teinte bleue cesse de se produire.

On opère de la même manière avec la solution de chromate à essayer, neutralisée s'il y a lieu, amenée au même volume de 50 centimètres cubes et légèrement acidifiée par 2 centimètres d'acide chlorhydrique ; on compare alors les volumes d'eau oxygénée qui ont été nécessaires dans les deux opérations, v et v', et on multiplie par le rapport $\frac{v'}{v}$ la quantité p d'acide chromique contenu dans le volume mesuré de la solution titrée.

La solution titrée de bichromate de potasse, qui sert à la comparaison, est facile à préparer et se conserve longtemps sans altération dans un vase bien bouché. L'eau oxygénée très étendue est, de son côté, suffisamment stable pour servir à une série de dosages, sans qu'il y ait à craindre aucun changement de titre pendant la durée des opérations ; mais il faut, chaque jour, la titrer à nouveau au moyen de la solution de bichromate.

La méthode est rapide et exacte ; elle permet d'apprécier en quelques minutes la teneur d'une solution de chromate et a dû à ces qualités d'être adoptée d'une manière courante dans l'industrie des matières colorantes (*).

Elle présente cette particularité, très rare pour les méthodes volumétriques, de n'introduire dans les liqueurs à analyser aucun réactif fixe, qui puisse être gênant pour d'autres dosages ; l'eau oxygénée elle-même se détruit en ne laissant que de l'eau ordinaire. On peut donc, après s'en être servi pour doser l'acide chromique, continuer l'analyse, en tenant seulement compte de ce fait, que le chrome se trouve désormais dans la liqueur

(*) M. Armand Perraud. *Moniteur scientifique*, octobre 1892, p. 722.

à l'état de sel de sesquioxyde et non plus à l'état de chromate.

II. — Peroxydation de l'oxyde de chrome.

J'ai montré dans ce qui précède l'action réductive très rapide et très complète qu'exerce l'eau oxygénée sur l'acide chromique dans une solution froide et acide.

Le même réactif opère une transformation inverse dans une solution chaude, alcaline ou ammoniacale, et peut servir à peroxyder entièrement l'oxyde de chrome.

Une solution étendue de chlorure de chrome, par exemple, chauffée à 100°, qu'on additionne d'eau oxygénée, qu'on sursature par la potasse ou par l'ammoniaque et qu'on chauffe de nouveau jusqu'à ébullition, devient d'abord trouble et brune par suite de la formation d'un composé intermédiaire et variable, sorte de chromate d'oxyde de chrome : $Cr^2O^3, n\,CrO^3$; puis ce composé se peroxyde à son tour sous l'action de l'eau oxygénée et se transforme finalement en chromate d'ammoniaque, qui forme une liqueur limpide d'un jaune clair. On facilite la transformation en agitant la fiole, pendant que se produit le dégagement d'oxygène dû à la décomposition de l'eau oxygénée (*).

Cette réaction oxydante semble, au premier abord, presque en contradiction avec la précédente ; mais le renversement de l'action de l'eau oxygénée, suivant qu'elle se produit dans un milieu acide ou dans un milieu alcalin, trouve son explication dans les principes thermochimiques ; M. Berthelot a montré, en effet (**), que les deux actions inverses sont accompagnées l'une et l'autre par un dégagement de chaleur, qui résulte des énergies

(*) A. Carnot. *C. R. Acad. des sciences*, 17 décembre 1888.
(**) *C. R. Acad. des sciences*, 1889.

complémentaires mises en jeu par la présence d'un acide dans un cas, d'un alcali dans l'autre. Les deux réactions sont, en réalité, l'une et l'autre exothermiques.

La transformation de l'oxyde en acide chromique présente, au point de vue analytique, un intérêt particulier, lorsqu'elle se fait en liqueur ammoniacale ; car, seule entre tous les procédés employés jusqu'ici pour la peroxydation du chrome, elle dispense de l'introduction des réactifs fixes, que l'on doit éviter autant que possible dans les analyses.

Elle est, à la vérité, moins énergique que la peroxydation par l'eau oxygénée en présence de la potasse et, quoique facilitée par l'agitation des liquides pendant que se produit le dégagement des bulles d'ogxyène, elle reste souvent incomplète ; il faut alors laisser déposer l'oxyde de chrome non transformé, le séparer du liquide par décantation, le redissoudre dans un peu d'acide et recommencer l'addition d'eau oxygénée et d'ammoniaque, ainsi que l'ébullition.

Lorsque la peroxydation est terminée, en liqueur alcaline ou ammoniacale, et que, par une ébullition prolongée, la liqueur est devenue bien limpide et la totalité de l'eau oxygénée a été décomposée, on peut procéder au dosage de l'acide chromique, soit par une méthode pondérale, soit par une méthode volumétrique. Mais, pour cette dernière, il importe de vérifier qu'il ne reste plus d'eau oxygénée avec le chromate. La vérification est d'ailleurs facile ; car, après avoir laissé refroidir la dissolution, si on l'acidifie légèrement, on verra apparaître aussitôt la teinte bleue caractéristique, pour peu qu'il reste d'eau oxygénée en présence de l'acide chromique. Il faudrait alors s'en débarrasser par une nouvelle ébullition avec un excès d'ammoniaque.

Lorsque la liqueur chromique n'a montré aucune teinte bleue, après avoir été refroidie et acidifiée, on peut faci-

lement y doser l'acide chromique par une solution titrée, notamment par l'eau oxygénée dans les conditions exposées plus haut.

III. — Applications.

Les réactions oxydante et réductive de l'eau oxygénée sur les composés du chrome permettent de simplifier beaucoup le dosage de ce métal dans des circonstances diverses.

S'il s'agit d'un *chromate*, on opère, comme je l'ai dit précédemment, en décomposant à froid la solution légèrement acide par de l'eau oxygénée très étendue, titrée par comparaison avec une solution type de bichromate.

S'il s'agit d'un sel d'*oxyde de chrome*, on en prend un volume convenable, plus ou moins selon le degré de dilution, on chauffe à 100°, on verse de l'eau oxygénée et de l'ammoniaque en excès; après une dizaine de minutes d'ébullition, la solution, d'abord verte, puis brune et trouble, a passé, en général, au jaune clair et est devenue limpide. Sinon, il faudrait reprendre le résidu insoluble par quelques gouttes d'acide et renouveler l'opération. Le liquide, après refroidissement, est étendu à un volume mesuré; on en prend 50 centimètres cubes pour faire le dosage volumétrique par la même méthode.

Si l'on veut déterminer simultanément les proportions d'*acide chromique* et de *sexquioxyde de chrome*, dans un mélange de sels ou bien dans une combinaison, telle qu'un chromate d'oxyde de chrome, on les dissout dans un peu d'acide sulfurique étendu, puis on fait le dosage volumétrique de l'acide chromique par l'eau oxygénée titrée, employée à froid; on peroxyde ensuite la totalité du chrome par l'eau oxygénée et l'ammoniaque à l'ébullition et, après destruction de l'excès du réactif, on laisse refroidir; on acidifie et on dose de nouveau, par l'eau

oxygénée titrée, l'acide chromique total. La différence des deux dosages fait connaître la portion correspondante au sexquioxyde de chrome.

On peut aussi se servir des transformations opérées par l'eau oxygénée pour faire le *dosage pondéral du chrome* : 1° après peroxydation en liqueur ammoniacale, on fait la précipitation à l'état de *chromate de plomb* dans la liqueur acidifiée par l'acide acétique; 2° après la réduction en liqueur acide, on chasse entièrement l'excès d'eau oxygénée par la chaleur ou bien on la détruit par l'hydrogène sulfuré, on sature par l'ammoniaque et on fait bouillir pour avoir un précipité complet d'*oxyde de chrome*. On peut également, dans ce dernier cas, après réduction de l'acide chromique, sans se préoccuper du petit excès d'eau oxygénée que renferme la liqueur, ajouter du phosphate de soude, puis de l'acétate de soude ou d'ammoniaque et porter à l'ébullition ; la liqueur restant acide, il ne se fait aucune suroxydation de sexquioxyde de chrome et celui-ci se précipite entièrement, en liqueur faiblement acétique, sous la forme de *phosphate de chrome* hydraté, d'un beau vert, dont j'ai déjà indiqué la formation dans des conditions un peu différentes en partant d'une solution de chromate alcalin; le produit de la calcination est : P^2O^5, Cr^2O^3. (*Comptes rendus*, 8 mai 1892.)

De là un autre moyen de doser l'*acide chromique* et l'*oxyde de chrome* dans un mélange ou une combinaison; on fait le dosage volumétrique du premier, comme ci-dessus, puis on précipite la totalité du chrome à l'état d'oxyde ou de phosphate et on le pèse sous cette forme après calcination.

MANGANÈSE

Les composés oxygénés du manganèse éprouvent, de la part de l'eau oxygénée, des actions analogues à celles que j'ai signalées pour les composés du chrome. Les suroxydes de manganèse et l'acide permanganique sont réduits en liqueur acide jusqu'à l'état de sels de protoxyde; les sels de protoxyde sont, au contraire, peroxydés en présence de l'ammoniaque en excès.

I. — Réduction des oxydes supérieurs du manganèse.

On sait que l'eau oxygénée se décompose avec effervescence au contact du bioxyde de manganèse et qu'une petite quantité de cet oxyde suffit à détruire une quantité indéfinie d'eau oxygénée. Sur ce principe était fondée une méthode d'essai gazométrique de l'eau oxygénée, dont l'oxygène actif, dégagé par un peu de bioxyde de manganèse, était mesuré dans une éprouvette graduée; mais on a reconnu que les résultats de cet essai étaient irréguliers à cause de l'acidité plus ou moins notable des eaux oxygénées du commerce; la présence d'une quantité, même très faible, d'acide détermine en effet le dégagement d'une quantité d'oxygène plus grande que celle de l'oxygène actif de l'eau oxygénée. [M. Blarez (*).]

Lorsque le bioxyde de manganèse et l'eau oxygénée se trouvent en présence d'une suffisante quantité d'un acide capable de se combiner avec le protoxyde de manganèse, il se fait une décomposition simultanée des deux

(*) *Journal de chimie et de pharmacie*, 1886, t. I, p. 185.

suroxydes. La quantité d'oxygène dégagé est alors double de celle qui se trouvait à l'état *actif* ou *disponible* soit dans l'eau oxygénée, s'il y avait excès de bioxyde de manganèse, soit au contraire dans l'oxyde de manganèse, si l'eau oxygénée se trouvait en excès.

Cette réaction se produit très facilement, même à froid, soit avec l'acide sulfurique étendu, soit avec l'acide azotique, soit même avec l'acide acétique, tandis qu'employé seul, aucun de ces acides n'attaquerait le bioxyde de manganèse.

Elle s'explique par la formation d'un composé intermédiaire, qui se détruit rapidement, comme s'expliquent d'ailleurs la décomposition de l'acide chromique et de l'eau oxygénée dans des conditions analogues et d'autres décompositions simultanées et corrélatives, dont le mécanisme a été révélé par M. Berthelot.

Une réaction semblable se produit, en liqueur acide, entre l'eau oxygénée et l'acide permanganique, la quantité d'oxygène dégagé étant toujours double de celle de l'oxygène disponible contenu dans celui des deux réactifs qui est en moindre proportion.

La transformation finale est exprimée par une formule telle que les suivantes :

Pour le bioxyde de manganèse :

$$MnO^2 + H^2O^2 + SO^3, H^2O = MnO, SO^3 + 2H^2O + O^2;$$
$$MnO^2 + H^2O^2 + Az^2O^5, H^2O = MnO, Az^2O^5 + 2H^2O + O^2;$$

Pour l'oxyde rouge calciné :

$$Mn^3O^4 + H^2O^2 + 3(SO^3, H^2O) = 3(MnOSO^3), + 4H^2O + O^2;$$

Pour l'acide permanganique :

$$Mn^2O^7 + 5H^2O^2 + 2(SO^3, H^2O) = 2(MnO, SO^3) + 7H^2O + O^{10}.$$

Ce dégagement de l'oxygène, au détriment des deux composés suroxygénés et en égale quantité de part et d'autre, a été mis à profit : pour l'essai des eaux

oxygénées commerciales par M. Riche (*), pour l'essai des oxydes de manganèse par M. Lunge (**), par M. Harry Jones (***) et par moi-même dans un travail que je publiai sans connaître encore les recherches analogues de mes devanciers, dont je m'empressai d'ailleurs de signaler la priorité (****).

Bien que le principe soit le même dans la méthode de M. Lunge et dans la mienne, il n'est peut-être pas inutile de faire connaître celle-ci, parce qu'elle emploie un dispositif entièrement différent. Le *volumètre universel* récemment décrit par M. Lunge (*****) est un appareil à mercure de 150 centimètres cubes de capacité, que tous les laboratoires ne possèdent pas; il remplace l'*azotomètre*, qui n'avait que 50 centimètres cubes et ne permettait d'opérer que sur $0^{gr},18$ de peroxyde de manganèse.

J'ai, au contraire, opéré sur la cuve à eau, avec un ballon et une éprouvette graduée, qui permettent de dégager jusqu'à 300 centimètres cubes de gaz et, par conséquent d'opérer toujours sur 1 gramme de minerai, d'où résulte une exactitude aussi grande des résultats avec des moyens de mesure moins délicats.

II. — Détermination de l'oxygène disponible dans un oxyde supérieur de manganèse.

A. *Procédé gazométrique*. — Je me sers d'un petit ballon de 150 centimètres cubes de capacité environ, fermé par un bouchon de caoutchouc percé de deux trous. Dans l'un passe un tube droit, effilé à la partie inférieure et muni à la partie supérieure d'un entonnoir

(*) *Journal de chimie et de pharmacie*, 1886, t. I, 249.
(**) *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1890.
(***) *American chemical journal*, 1890, p. 275.
(****) *Acad. des sciences*, 5 et 12 juin 1893; *Bull. de la Société chim.*, 1893, t. I, p. 646.
(*****) *Bull. de la Soc. chim.*, 1894, t. II, p. 636.

et d'un robinet de verre; l'autre porte un tube de dégagement recourbé en S et aboutissant au sommet d'une éprouvette graduée, de 300 centimètres cubes de capacité, remplie d'eau et disposée sur une cuve à eau.

On introduit dans le ballon ouvert 1 gramme de l'oxyde de manganèse à essayer réduit en poudre fine, puis environ 30 centimètres cubes d'eau et 20 centimètres cubes d'acide azotique, afin de décomposer à l'avance les carbonates que peut renfermer le minerai. (L'acide azotique est employé de préférence à l'acide sulfurique lorsque l'oxyde de manganèse à essayer est mêlé de calcaire; en l'absence de chaux, les deux acides conviennent également bien.)

Lorsque l'acide carbonique a été entièrement dégagé, on place le bouchon, mais sans enfoncer le tube effilé jusqu'au liquide et, laissant le robinet ouvert, on introduit le tube de dégagement sous l'éprouvette graduée qui est pleine d'eau; ce tube se trouve alors rempli de liquide depuis son extrémité libre jusqu'à sa sortie de la cuve à eau.

Le ballon est fixé sur un support à pinces; on enfonce le tube jusqu'au fond du ballon, puis on ferme le robinet de verre et on verse dans l'entonnoir une quantité mesurée de 20 centimètres cubes d'eau oxygénée à 10 volumes. En tournant le robinet avec précaution, on fait écouler doucement le réactif dans le ballon et on a soin de refermer le robinet au moment même où les dernières parties du liquide achèvent d'y passer. L'attaque se fait aussitôt sans chauffer avec la plupart des oxydes de manganèse; d'abord très rapide, elle se termine dans l'espace de quelques minutes, si l'on a soin d'agiter le ballon de temps en temps. Pour quelques oxydes compacts seulement il peut être nécessaire de chauffer un peu pour compléter l'attaque; il est alors indispensable de refroidir le ballon ou de lui donner le temps de

revenir de lui-même à la température extérieure, avant de procéder à la mesure du gaz.

Pour connaître le volume de l'oxygène dégagé par l'action de l'eau oxygénée sur le suroxyde de manganèse, il suffit de mesurer l'augmentation du volume gazeux total, en s'assurant que la température et la pression sont restées les mêmes qu'au début de l'expérience. Pour cela on saisit l'éprouvette graduée à l'aide d'une pince en bois ou avec un tampon de papier empêchant le contact direct des doigts et on la fait descendre dans la cuve à eau, jusqu'à ce que le niveau du liquide soit exactement le même au dedans et au dehors.

Dans ces conditions, on retire de l'éprouvette graduée la branche du tube en S qui y était engagée. On enfonce l'éprouvette dans l'eau pour donner au gaz contenu la température marquée par le thermomètre immergé dans la cuve à eau et on détermine le volume du gaz, après l'avoir ramené à la pression atmosphérique.

Soit V le volume ainsi trouvé.

Pour avoir le volume gazeux total, il faut ajouter à V le petit volume v du gaz qui a rempli l'extrémité du tube de dégagement primitivement pleine d'eau, volume qui se mesure aisément avec de l'eau une fois pour toutes. Il faut, d'autre part, retrancher le volume de l'eau oxygénée qui a été introduite dans le ballon et qui a déplacé un égal volume de gaz. Ce volume est égal à 20 centimètres cubes.

Représentons par U l'accroissement total du volume gazeux, c'est-à-dire $V + v - 20$ centimètres cubes; l'évaluation a été faite à la température t et à la pression atmosphérique H observées lors de l'expérience; le gaz est d'ailleurs saturé d'humidité, dont la tension h est connue d'après la température; comme cet accroissement est dû à l'oxygène fourni, moitié par l'oxyde de manganèse, moitié par l'eau oxygénée, il n'en faudra

prendre que la moitié, pour calculer le poids du gaz cédé par 1 gramme de minerai.

Sachant que le poids de 1 litre d'oxygène sec, à 0° et 760 millimètres, est de $1^{gr},4298$ et connaissant le volume U exprimé en centimètres cubes, on calculera en milligrammes le poids *d'oxygène disponible*, dans 1 gramme de minerai de manganèse au moyen de la formule :

$$p = \frac{1}{2}\,U \times 1{,}4298 \times \frac{H - h}{760} \times \frac{1}{1 + 0{,}00367\,t}.$$

Le calcul numérique peut être remplacé par l'usage d'une table donnant le poids d'un centimètre cube d'oxygène saturé d'humidité pour les températures et les pressions ordinaires. La table suivante donne ces indications, pour des températures variant de degré en degré entre 10° et 25° et pour des pressions atmosphériques variant de 5 en 5 millimètres entre 750 et 770 millimètres. Pour les pressions intermédiaires, il suffit de procéder par interpolation. On a ainsi, dans chaque cas, le coefficient par lequel on devra multiplier le volume d'oxygène mesuré, c'est-à-dire $\frac{1}{2}$ U.

Poids, en milligrammes, d'un centimètre cube d'oxygène, saturé d'humidité entre 10° et 25°.

	750 mm.	755 mm.	760 mm.	765 mm.	770 mm.
10°	1,3445	1,3536	1,3627	1,3717	1,3808
11	1,3385	1,3476	1,3566	1,3656	1,3747
12	1,3327	1,3417	1,3507	1,3598	1,3688
13	1,3268	1,3358	1,3448	1,3537	1,3627
14	1,3207	1,3297	1,3386	1,3475	1,3565
15	1,3147	1,3236	1,3325	1,3415	1,3504
16	1,3087	1,3176	1,3265	1,3354	1,3443
17	1,3026	1,3115	1,3203	1,3292	1,3380
18	1,2966	1,3054	1,3142	1,3230	1,3318
19	1,2903	1,2991	1,3079	1,3167	1,3255
20	1,2840	1,2928	1,3015	1,3103	1,3191
21	1,2777	1,2864	1,2952	1,3039	1,3126
22	1,2715	1,2802	1,2889	1,2976	1,3063
23	1,2651	1,2737	1,2824	1,2911	1,2998
24	1,2586	1,2672	1,2758	1,2845	1,2931
25	1,2519	1,2605	1,2691	1,2778	1,2864

La méthode qui vient d'être indiquée fournit simplement et en très peu de temps des résultats d'une exactitude très suffisante en général. Pendant les quelques minutes de durée de l'expérience, on peut considérer la pression atmosphérique, la température et par conséquent la tension de la vapeur d'eau comme invariables.

L'emploi de la cuve à eau rend l'opération facile et n'est pas du tout une cause d'erreur; car la quantité d'oxygène qui peut se dissoudre dans l'eau déjà aérée, pendant le temps de l'expérience, est tout à fait négligeable; l'expérience directe a donné une perte de $1^{cc},5$ seulement sur un volume de 236 centimètres cubes de gaz au bout de vingt-quatre heures.

En résumé, entre des mains expérimentées, l'erreur à prévoir ne dépasse pas 1 milligramme d'oxygène sur 1 gramme de minerai.

Voici, à titre d'exemple, les premiers résultats obtenus dans mon laboratoire :

Une pyrolusite avait été essayée par les procédés volumétriques et avait fourni : par la méthode du sulfate de fer, 15,60 p. 100 d'oxygène disponible; par la méthode de l'acide oxalique, 15,52 p. 100 d'oxygène disponible. L'essai gazométrique a donné, en opérant sur $0^{gr},500$ de minerai et chauffant légèrement, 15,77 p. 100; en agitant sans chauffer, 15,49 p. 100. Sur 1 gramme de minerai, sans chauffer, on a obtenu dans trois expériences successives : 15,45, 15,51 et 15,63 p. 100.

Appliquant le même procédé au suroxyde formé par l'action de l'eau oxygénée et de l'ammoniaque en excès, Mn^6O^{11}, dont je parlerai plus loin, on doit avoir :

$$Mn^6O^{11} + 5\,H^2O^2 + 6\,(Az^2O^5, H^2O) = 6\,(MnO, Az^2O^5) + 11\,H^2O + O^{10}.$$

L'essai a fourni, pour $0^{gr},580$ de manganèse, un volume gazeux total de 212 centimètres cubes, soit 106 centimètres cubes d'oxygène, mesuré à + 18° et 760 millimètres, ce qui correspond à $139^{mm},3$ d'oxygène. Or, le calcul opéré d'après la formule Mn^6O^{11} donne $140^{mg},6$ d'oxygène disponible.

La concordance est donc aussi complète que possible.

B. *Procédé volumétrique.* — Parmi les nombreux procédés volumétriques, qui peuvent être employés pour la détermination de l'oxygène disponible dans les oxydes supérieurs de manganèse, celui que je préfère, comme étant d'un emploi facile et sûr, est celui qui consiste à dissoudre le suroxyde par une solution étendue d'acide oxalique et d'acide sulfurique. L'acide oxalique doit être en quantité exactement connue et plus que suffisante pour utiliser tout l'oxygène disponible en se transformant lui-même partiellement en acide carbonique. L'excédent non transformé est ensuite déterminé, avec précision, en versant d'une burette graduée une solution de permanganate de potasse, titrée par comparaison avec l'acide oxalique, jusqu'à apparition de la coloration rose du réactif.

La différence entre le volume de permanganate correspondant à l'acide oxalique total introduit et le volume du réactif employé fait connaître la quantité d'oxygène fourni par le suroxyde de manganèse et, par conséquent, la proportion p. 100 d'oxygène disponible dans ce suroxyde.

Le sulfate ferreux ou le sulfate ferroso-ammonique en solution titrée peut être substitué à l'acide oxalique et donner également de fort bons résultats. Mais on peut reprocher au premier de ces réactifs de s'altérer facilement à l'air. L'un et l'autre ont, d'ailleurs, l'inconvénient de donner des résultats trop élevés, lorsque l'oxyde de manganèse renferme des nitrates, de l'acide nitrique ou des chlorates, susceptibles de peroxyder le sel ferreux; or, il s'en trouve fréquemment dans les oxydes naturels et

il peut en rester aussi dans le bioxyde artificiel, préparé au moyen de l'acide azotique concentré et du chlorate de potasse.

En définitive, les deux méthodes gazométrique et volumétrique permettent de doser en quelques minutes et avec une grande précision l'oxygène en excédent sur le protoxyde dans un suroxyde supérieur de manganèse.

Si, d'autre part, on était bien fixé sur l'état d'oxydation du manganèse dans un tel composé, il serait facile de calculer la proportion de métal uni à l'oxygène.

Mais, pour être en droit de substituer ainsi le dosage de l'oxygène disponible au dosage direct du manganèse, même pour des essais industriels, il faut connaître avec certitude la proportion relative des deux éléments.

C'est ce que je me suis proposé d'obtenir, en examinant divers oxydes de manganèse préparés dans des conditions bien déterminées et faciles à réaliser.

III. — Préparation d'oxydes supérieurs de manganèse bien définis.

A. *Calcination à haute température.* — La calcination faite au contact de l'air, pendant un temps assez long et à température élevée, transforme les différents oxydes de manganèse en un composé, qui a presque rigoureusement pour formule Mn^3O^4.

Mais différentes circonstances, notamment le contact de corps réducteurs, celui des gaz du foyer et la présence de bases fortes, comme les alcalis ou les terres alcalines, tendant à former des manganates, peuvent modifier un peu cette composition. D'autre part, il faut remarquer que le dosage de 3 atomes du manganèse devra se déduire de celui d'un seul atome d'oxygène disponible, ce qui rend le dosage peu précis; car le poids trouvé pour l'oxygène et par conséquent aussi l'erreur faite sur ce poids

devront être multipliés par le rapport $\frac{3\,Mn}{O} = \frac{165}{16} = 10{,}3$; l'erreur sera donc décuplée. Il résulte de ces différentes considérations que ce mode de dosage du manganèse est réellement défectueux.

B. *Évaporation et calcination ménagée du nitrate.* — Lorsqu'on a dissous le manganèse par l'acide azotique et que l'on évapore à sec, pour calciner ensuite avec précaution le résidu jusqu'à disparition de toute vapeur nitreuse, on obtient un résidu noir, dont la composition est voisine de MnO^2, mais ne répond cependant pas exactement à cette formule. On s'en rapproche en répétant deux ou trois fois l'évaporation avec de l'acide nitrique et la calcination ménagée; mais, en dépit de ces précautions, le degré d'oxydation demeure un peu incertain; du moins on n'est pas sûr que la totalité du manganèse soit arrivée à cet état. H. Sainte-Claire Deville, dans l'exposé de sa méthode de séparation des bases par le nitrate d'ammoniaque, a très justement signalé la difficulté au point de vue de la séparation du manganèse; car il dit : « sous l'influence d'une petite quantité de matière organique ou bien d'une chaleur trop forte, des traces de bioxyde de manganèse peuvent se réduire et se dissoudre dans le nitrate d'ammoniaque (*). » On ne peut donc pas sûrement se servir de ce composé irrégulier pour doser le métal d'après l'oxygène contenu.

C. *Précipitation par l'acide azotique et le chlorate de potasse.* — Si l'on a dissous le manganèse dans l'acide azotique concentré ($d = 1{,}35$) et qu'on projette par petites portions à la fois, du chlorate de potasse en petits cristaux dans la solution chaude, jusqu'à ce que la

(*) *Annales de chimie et de physique*, 1853, t. XVIII, p. 10 et 18.

réaction vive paraisse achevée, on obtient un résidu noir de peroxyde de manganèse, insoluble dans la liqueur acide, tandis que les autres métaux, en général, y sont dissous.

Cette réaction a été indiquée par MM. Beilstein et Jawein, en 1878, et appliquée, en 1881, par M. Ford (des aciéries de Pittsburg) à l'analyse des aciers, en vue du dosage pondéral du manganèse.

Une opération ne suffit pas pour isoler l'oxyde de manganèse, qui retient toujours une certaine quantité d'oxyde de fer; M. Ford a conseillé de filtrer sur l'amiante, puis de redissoudre le précipité par l'acide chlorhydrique et de séparer le fer par deux précipitations successives suivant la méthode des acétates, afin de pouvoir ensuite doser le manganèse à l'état de pyrophosphate. On réussit plus simplement à achever d'isoler le manganèse en redissolvant le peroxyde sur le filtre d'amiante par l'acide azotique avec un peu d'eau oxygénée, évaporant presque à sec, reprenant par l'acide azotique concentré et précipitant de nouveau par le chlorate de potasse. Deux ou trois opérations de ce genre sont assez vite faites et donnent un oxyde de manganèse complètement exempt de fer, qu'on peut se borner à calciner et à peser.

Au point de vue du dosage ultérieur par liqueurs titrées, j'ai reconnu que le précipité produit par la méthode Beilstein et Jawein est réellement un hydrate du bioxyde de manganèse MnO^2 et que l'on est, en conséquence, autorisé à doser l'oxygène disponible pour calculer le manganèse correspondant, atome pour atome. Le coefficient de multiplication sera : $\frac{Mn}{O} = \frac{55}{16} = 3{,}4375$.

Voici les résultats de quelques essais faits au moyen de l'acide oxalique titré sur des oxydes préparés par la méthode du chlorate de potasse :

10 centimètres cubes d'une solution de sulfate de manganèse, devant contenir $0^{gr},1088$ de métal, ont été évaporés à sec; le résidu calciné, pour chasser l'acide sulfurique, a été redissous par l'acide azotique avec eau oxygénée; la solution évaporée doucement, puis reprise par l'acide azotique concentré et précipitée par le chlorate de potasse, a donné une quantité de bioxyde, dans laquelle on a dosé l'oxygène. La formule MnO^2 conduit à $0^{gr},1071$ de métal.

Une pyrolusite, où l'on avait trouvé pondéralement $0^{gr},5494$ de manganèse, traitée de même, a donné : $0^{gr},5472$.

Un ferromanganèse, où l'on avait dosé pondéralement 0,4776 de manganèse a donné un oxyde qui, considéré comme bioxyde, devait contenir $0^{gr},4757$ de métal.

On peut donc dire que la méthode de l'acide azotique et du chlorate de potasse, complétée par le dosage volumétrique de l'oxygène, conduit à des résultats très approchés, bien suffisants pour les besoins de l'industrie.

On va voir que les résultats sont plus satisfaisants encore avec la méthode de l'eau oxygénée et de l'ammoniaque, complétée de même par un dosage oxydimétrique.

D. *Précipitation par l'eau oxygénée et l'ammoniaque.* — Dans la solution d'un sel de manganèse, si l'on verse de l'eau oxygénée, puis de l'ammoniaque en assez grand excès, et si l'on porte à l'ébullition pendant quelques minutes, on obtient un précipité brun très foncé, qui renferme la totalité du manganèse et dans lequel le degré d'oxydation du métal est exprimé très exactement par la formule : Mn^6O^{11} ou $5MnO^2$, MnO (*).

Pour l'*analyse pondérale*, il suffira, si le précipité est exempt d'autres oxydes métalliques, de filtrer, sécher et

(*) *Acad. des sciences*, décembre 1888. — *Bull. Soc. chim.* 1889, I, p. 277.

calciner, pour obtenir l'oxyde rouge Mn^3O^4. On obtient ainsi très simplement le dosage du métal.

Pour un *dosage oxydimétrique*, on n'aura qu'à recueillir sur un filtre, laver et faire passer dans une fiole ou un verre, où l'on procédera au dosage gazométrique ou au dosage volumétrique de l'oxygène. Comme, d'après la formule, 6 atomes de manganèse correspondent exactement à 5 atomes d'oxygène disponible, pour passer de celui-ci au métal, on devra multiplier le poids de l'oxygène par le coefficient : $\frac{6.Mn}{5.O} = \frac{330}{80} = 4,125$.

L'opération étant extrêmement simple et rapide, cette méthode m'a paru susceptible d'applications fréquentes et, comme le point de départ en avait été contesté (*) après la publication de mes premiers résultats, j'ai attaché une importance toute particulière à étudier les circonstances qui peuvent influer sur son exactitude, de manière à la mettre tout à fait hors de doute. Ces circonstances justifieront les détails dans lesquels j'ai dû entrer dans la suite de ce travail (**).

1° *Composition du précipité.* — Je me suis tout d'abord proposé de fixer d'une façon certaine l'état d'oxydation du manganèse en faisant la précipitation dans les conditions les plus simples.

Une solution de sulfate de manganèse a été préparée et le titre en a été vérifié par trois procédés différents (1° évaporation et légère calcination du sulfate; 2° transformation en oxyde rouge; 3° transformation en sulfure); 50 centimètres cubes de la solution renfermaient 545 milligrammes de manganèse.

Prenant 50 centimètres cubes de cette solution, on y

(*) M. Gorgeu, *Bull. Soc. chim.*, 1890, I, p. 401, 594 et 781.
(**) *Bull. Soc. chim.*, 1893, I, p. 643.

ajoute de l'eau jusqu'à former 400 centimètres cubes, on y verse 10 centimètres cubes d'eau oxygénée à 10 volumes, contenant environ 143 milligrammes d'oxygène disponible. On sursature rapidement par l'ammoniaque, qui forme aussitôt un précipité brun foncé, et on porte à 100° pendant une dizaine de minutes. L'eau oxygénée en excès est détruite par l'ébullition avec un excès d'ammoniaque et le précipité prend une consistance, qui le fait déposer assez rapidement. Après quelques minutes de repos, on décante le liquide clair, on le remplace par de l'eau ammoniacale et on chauffe de nouveau à 100° pendant cinq minutes, afin d'être bien sûr que le précipité ne retient plus du tout d'eau oxygénée.

On recueille sur un filtre, on lave à l'eau bouillante, puis on perce le filtre et on fait tomber l'oxyde de manganèse à l'aide d'un jet d'eau distillée dans une fiole, où on le traite par 10 centimètres cubes d'acide sulfurique pur mêlés à 100 centimètres cubes d'eau et par 20 centimètres cubes, exactement mesurés à l'aide d'une pipette, d'acide oxalique normal.

Lorsque la dissolution est complète, on fait couler avec précaution, jusqu'à apparition de la coloration rose persistante, une solution titrée de permanganate de potasse, de manière à déterminer la quantité d'acide oxalique qui n'a pas été transformée en acide carbonique par le suroxyde de manganèse.

Le permanganate ayant été titré par comparaison à la fois avec l'acide oxalique normal et avec une solution normale de sulfate de protoxyde de fer et d'ammoniaque, le volume employé fait connaître la quantité d'oxygène qu'il a fourni pour compléter l'oxydation des 20 centimètres cubes d'acide oxalique, et, par différence, la quantité qui avait déjà été empruntée au suroxyde de manganèse, c'est-à-dire l'*oxygène disponible* du suroxyde.

On a fait successivement dix essais, en opérant chaque

fois sur 50 centimètres cube de la solution ou 545 milligrammes de manganèse.

Les résultats des dosages ont été les suivants :

SOLUTION oxalique	PERMANGANATE décoloré	ACIDE OXALIQUE BRULÉ par le permanganate	ACIDE OXALIQUE BRULÉ par le suroxyde	OXYGÈNE disponible dans le suroxyde
cc	cc	cc	cc	mgr
20	11,5 (×0,3039 =)	3,49	16,51	132,08
20	11,7	3,55	16,45	131,6
20	11,4	3,46	16,54	132,3
20	11,2	3,37	16,63	133,0
20	11,6	3,52	16,48	131,8
20	11,7	3,55	16,45	131,6
20	11,4	3,46	16,54	132,3
20	11,5	3,49	16,51	132,08
20	11,4	3,46	16,54	132,3
20	11,5	3,49	16,51	132,08
	Moyenne			132,114

La moyenne des résultats de ces dix essais est de $132^{mg},114$ d'oxygène. Or, si l'on calcule la quantité disponible contenue dans le composé Mn^6O^{11}, on trouve, pour 545 milligrammes de manganèse, $132^{mg},12$ d'oxygène disponible. Ce nombre ne diffère que de $0^{mg},6$ (ou moins de 1/20000) de la quantité calculée.

J'étais donc bien en droit d'affirmer que le composé répond exactement au degré d'oxydation exprimé par la formule Mn^6O^{11}. Je puis ajouter que les résultats sont pratiquement très sûrs, puisque, sur dix épreuves, les plus grands écarts observés ont été $0^{mg},6$ et $0^{mg},8$ pour $132^{mg},12$ d'oxygène.

Je dois rappeler aussi que l'essai gazométrique du précipité, dont il a été rendu compte plus haut (p. 562), a, de son côté apporté une confirmation parfaite à la formule Mn^6O^{11} et prouvé que l'on pouvait se servir de la mesure du gaz dégagé pour calculer le manganèse.

Il ressort aussi des expériences précédentes que, pour obtenir le suroxyde Mn^6O^{11}, il n'est pas nécessaire de

mettre le sel de manganèse en présence d'un grand excès d'oxygène libre; car les 10 centimètres cubes d'eau oxygénée à 10 volumes ne donnent que 143 milligrammes d'oxygène et le suroxyde formé en contient 132 milligrammes.

Il m'a paru curieux de chercher quel serait l'effet d'une diminution graduelle de la quantité d'oxygène libre fourni par l'eau oxygénée. L'eau oxygénée ayant été étendue d'un égal volume d'eau pure, j'ai employé des proportions décroissantes de ce liquide avec une quantité constante de manganèse; puis j'ai opéré la précipitation par l'ammoniaque en excès et dosé l'oxygène disponible du précipité dans les mêmes conditions que précédemment. Voici les résultats :

EMPLOYÉ	OXYGÈNE fourni	OXYGÈNE retrouvé
	mgr	mgr
20cc d'eau oxygénée à 5 volumes.	143,0	131,8
18 — —	128,7	131,6
16 — —	114,3	120,0
15 — —	107,2	102,6
10 — —	71,5	98,4

On voit que, dans les quatre dernières expériences, le précipité contenait plus d'oxygène disponible que n'en avait fourni le réactif; le surplus devait donc avoir été emprunté à l'atmosphère ou plutôt à l'air dissous dans le liquide.

D'autre part, l'emploi d'un excès, même très notable, d'eau oxygénée, ne modifie pas la composition du suroxyde de manganèse.

Opérant deux fois sur le même volume (10^{cc}) de chlorure de manganèse, qui renfermait $237^{mg},6$ de métal, la première fois avec 10 centimètres cubes d'eau oxygénée à 10 volumes, la deuxième fois avec 30 centimètres cubes du même réactif, puis faisant le dosage oxydimé-

trique du composé obtenu, j'ai dû employer, dans l'un et l'autre cas, exactement le même volume, $7^{cm3},2$ de la solution oxalique normale, correspondant d'une manière tout à fait rigoureuse à l'oxygène calculé d'après la formule Mn^6O^{11}.

2° *Variantes du procédé de précipitation.* — Ce même composé peut d'ailleurs s'obtenir dans des conditions différentes, soit en remplaçant l'ammoniaque par un autre alcali, soit en substituant à l'eau oxygénée un autre réactif oxydant, comme nous allons le voir.

α. Dans une dissolution contenant $237^{mgr},4$ de manganèse, on a ajouté 10 centimètres cubes d'eau oxygénée à 10 volumes, puis de la *potasse* en excès; on a d'abord observé une coloration rosée, mais bientôt le manganèse a été entièrement précipité; après ébullition et lavage, on a fait le dosage oxydimétrique et employé à cet effet, comme dans les expériences précédentes, $7^{cc},2$ d'acide oxalique normal. Le précipité formé par l'action de l'*eau oxygénée* et de l'*alcali fixe* a donc pour composition Mn^6O^{11}.

β. L'emploi du *brome* et de l'*ammoniaque* donne également lieu à la formation du suroxyde Mn^6O^{11}, mais à condition d'observer certaines précautions nécessaires pour obtenir une oxydation complète et, plus tard, un lavage parfait du précipité. A la suite de plusieurs essais qui avaient donné des résultats discordants, l'expérience a été faite, dans ces conditions, deux fois sur $124^{mgr},3$ de manganèse et deux autres fois sur $623^{mgr},7$ de métal; la solution a été neutralisée par l'ammoniaque, additionnée de brome et de nouveau neutralisée par l'ammoniaque; on a ajouté une seconde fois du brome et de l'ammoniaque en léger excès; le précipité, formé à froid, a été lavé pendant plusieurs heures à l'eau bouillante. Appliquant alors le dosage volumétrique par l'acide oxalique et le permanganate de

potasse et calculant le manganèse d'après la formule Mn^6O^{11}, on a trouvé, pour les deux premiers essais, $125^{mgr},4$ et $124^{mgr},1$; pour les deux derniers, 627 milligrammes et $620^{mgr},4$, nombres très voisins de ceux qu'il aurait fallu trouver. On peut donc dire que le précipité répond, encore ici, à la composition Mn^6O^{11}; mais je ne crois pas devoir recommander cette méthode de précipitation, lorsqu'on a en vue un dosage volumétrique, à cause des soins minutieux à apporter dans la précipitation et dans le lavage. L'emploi de l'eau oxygénée est assurément bien préférable. Il y a lieu de réserver l'emploi du brome pour le dosage pondéral.

3° *Influence des sels ammoniacaux.* — Les sels de manganèse se trouvent souvent en présence de sels ammoniacaux introduits ou formés dans la liqueur. Il importe de savoir quelle influence ils peuvent exercer sur la précipitation du métal.

Je vais résumer ici les résultats de nombreuses expériences faites en présence de chlorhydrate, d'azotate et d'acétate d'ammoniaque.

Jusqu'à la dose de 10 grammes et au delà, le *chlorhydrate d'ammoniaque* n'a pas semblé avoir d'effet nuisible sur la précipitation de $0^{gr},108$ de manganèse au moyen de 8 centimètres cubes d'eau oxygénée à 5 volumes et d'un excès d'ammoniaque. Le précipité se fait rapidement lorsqu'on chauffe la liqueur; il est d'un brun noir et de composition normale.

Avec 20 grammes de sel ammoniac, la précipitation est lente, le dépôt est brun et moins oxygéné; mais on retrouve le composé normal Mn^6O^{11} en employant 20 centimètres cubes de l'eau oxygénée à 5 volumes.

D'une façon générale, on contrebalance l'effet du sel ammoniac par l'emploi d'une plus grande quantité d'eau oxygénée.

L'*azotate d'ammoniaque* a un peu moins d'influence que le chlorhydrate.

L'*acétate d'ammoniaque* en a, au contraire, davantage. Il convient d'employer l'eau oxygénée en excès d'autant plus considérable qu'il y a plus d'acétate et moins de manganèse. Ainsi, $0^{gr},108$ de métal fournissent un précipité normal avec 8 centimètres cubes d'eau oxygénée à 5 volumes en présence de 7 grammes d'acétate, et un précipité incomplet, jaunâtre, en présence de 20 grammes d'acétate. Le précipité redevient normal, si l'on emploie 25 centimètres cubes d'eau oxygénée. Avec 6 grammes d'acétate, il convient d'employer 20 centimètres cubes d'eau oxygénée pour $0^{gr},0108$ de manganèse et 30 centimètres cubes pour $0^{gr},0054$ de métal.

Lorsqu'on a opéré la séparation du fer et du manganèse par ébullition avec une grande quantité de chlorhydrate ou d'acétate d'ammoniaque et que l'on se propose de doser pondéralement le manganèse, on doit préférer le brome à l'eau oxygénée, mais il faut avoir soin de rendre le liquide légèrement ammoniacal et même, comme je l'ai dit plus haut, de faire une seconde addition de brome et d'ammoniaque pour être sûr d'obtenir une précipitation bien complète.

4° *Influence des sels de métaux solubles dans l'ammoniaque et les sels ammoniacaux.* — Lorsque la dissolution renferme, avec le manganèse, des métaux dont les sels sont solubles dans l'ammoniaque et les sels ammoniacaux, la précipitation du manganèse par l'eau oxygénée et l'ammoniaque n'est nullement entravée; mais il peut y avoir entraînement sensible des autres métaux, s'ils sont avec lui en proportion importante.

Au point de vue de l'analyse pondérale, il est facile de remédier à cet entraînement et d'obtenir le suroxyde de manganèse pur, en renouvelant deux ou trois fois la précipitation. La dissolution du précipité s'opère aisément par l'acide chlorhydrique concentré; elle est bien plus facile encore et peut se faire sur le filtre même, sans danger de le percer et sans dégagement désagréable de chlore, au moyen de l'acide azotique très étendu, si l'on y ajoute une certaine quantité d'eau oxygénée. Le liquide filtré peut être, aussitôt après, précipité de nouveau par l'ammoniaque en excès, porté à l'ébullition et filtré de nouveau.

Au point de vue de l'analyse volumétrique, ces précipitations répétées, si faciles d'ailleurs et si rapides, sont également nécessaires pour obtenir le manganite de manganèse bien défini Mn^6O^{11} ou $5MnO^2.MnO$. La présence d'autres oxydes métalliques paraît donner lieu à la formation d'une quantité plus ou moins notable d'un autre manganite de composition analogue, tel que $5MnO^2.CuO$ ou $5MnO^2.ZnO$. Or, de semblables composés ont pour effet d'exagérer la proportion de l'oxygène disponible relativement à celle du manganèse; car 5 équivalents d'oxygène disponible y correspondent seulement à 5 (et non à 6) équivalents de manganèse.

Ce fait, assez intéressant par lui-même et important au point de vue analytique, est démontré par la série des essais suivants :

Une même quantité ($516^{mgr},9$) de manganèse a été précipitée en présence de quantités croissantes de cuivre; puis on a fait le dosage volumétrique de l'oxygène par l'acide oxalique et le permanganate de potasse. En calculant le manganèse d'après la formule $5MnO^2.MnO$, on a trouvé :

Avec 290	de sulfate de cuivre	531,3 de Mn	au lieu de 516,8
580	—	538,8	—
1160	—	570,8	—
4500	—	561,0	—

Ce mode de calcul exagère donc la quantité de manganèse d'autant plus qu'il y a plus de cuivre.

Dans une autre série d'essais, on a mêlé à la solution de manganèse des solutions diverses : sels de cuivre, de zinc, de nickel, de cobalt. On a trouvé :

	cc	mgr		mgr
Avec	10 de sulfate de cuivre	118,1	de Mn au lieu de	108,9
	20 de sulfate de cuivre	118,8	—	—
	30 de sulfate de zinc	115,6	—	—
	20 de sulfate de cuivre 20 de sulfate de zinc	117,1	—	—
	20 de chlorure de cobalt	144,2	—	—
	25 de sulfate de cuivre 25 de sulfate de zinc 25 de chlorure de nickel	115,0	—	—
	30 de chlorure de nickel	115,6	—	—
	20 de sulfate de cuivre 20 de sulfate de zinc 20 de chlorure de nickel	118,1	—	—

On voit que tous ces métaux ont une influence notable et toujours dans le même sens sur le dosage du manganèse, qu'ils tendent à faire trouver trop élevé. Le cobalt est celui dont l'influence est la plus considérable.

La présence de chlorhydrate ou d'azotate d'ammoniaque tend à atténuer cet effet; on pouvait s'y attendre, parce que ces sels favorisent la dissolution et l'élimination des métaux autres que le manganèse.

En opérant de la même façon que plus haut, mais après addition de 4 grammes de sel ammoniac dans chacun des essais, on a trouvé par la méthode oxydimétrique :

	cc	mgr		mgr
Avec	20 de sulfate de cuivre	237,6	de Mn au lieu de	223
	20 de sulfate de zinc	236,6	—	—
	20 de chlorure de nickel	236,6	—	—
	mgr 250 de cobalt à l'état de chlorure	243,6	—	—

L'écart est relativement moindre que dans la série précédente, où il n'y avait de sel ammoniacal que celui formé aux dépens des sels métalliques.

Les précipitations successives, que nous avons recommandées plus haut, se faisant en présence de chlorhydrate ou d'azotate d'ammoniaque, doivent naturellement permettre, en purifiant le précipité, d'obtenir un dosage de plus en plus exact, par la méthode volumétrique comme par la méthode pondérale. Les expériences suivantes en donnent la preuve.

Opérant sur 516^{mgr},9 de manganèse, on a trouvé :

	gr				mgr
Avec	5 de sulfate de cuivre, après	3	précipitations		514,8
	5 de sulfate de zinc, après	3	—		515,5
	2 de chlorure de nickel, après	2	—		517,1
	2 de chlorure de cobalt, après	3	—		531,3
	2 — — —	5	—		516,6

Dans une autre série d'expériences, opérant sur 223 milligrammes de manganèse et ajoutant, au début, 4 grammes de sel ammoniac, on a obtenu :

	cc			mgr
Avec	20 de sulfate de cuivre, après	3	précipitations	222,8
	10 de sulfate de zinc, après	3	—	222,4
	mgr 500 de nickel métallique, après	3	—	223,1
	250 de cobalt métallique, après	4	—	222,8

On voit que, même en présence d'une quantité importante de sels étrangers, il suffit de deux ou trois précipitations par l'eau oxygénée et l'ammoniaque pour obtenir un oxyde de manganèse complètement pur, fournissant un dosage excellent, soit par méthode pondérale, soit par méthode volumétrique.

5° *Influence des sels de fer.* — Il restait à chercher quelle influence pouvait avoir sur le dosage volumétrique du manganèse la présence du fer, qui se trouvait, comme de juste, entièrement précipité avec lui.

A cet effet, on a fait une série d'essais sur des dissolutions contenant 108^{mgr},7 de manganèse et des proportions croissantes de fer; on précipitait par une quantité constante (10^{cc}) d'eau oxygénée et par de l'ammoniaque

en excès. Après ébullition et filtration, on déterminait l'acide oxalique consommé par le dosage volumétrique. Calculant alors le manganèse, comme si le composé était Mn^6O^{11}, on a trouvé :

	mgr		cc		mgr
Avec	25	de fer, acide oxalique	3,30	d'où Mn =	108,9
	50	—	3,29	—	108,5
	75	—	3,30	—	108,9
	100	—	3,30	—	108,9
	150	—	3,26	—	107,6
	200	—	3,25	—	107,2
	250	—	3,20	—	105,6
	300	—	3,10	—	102,3
	350	—	3,04	—	100,3

Il ressort de ces expériences que la précision du dosage volumétrique du manganèse n'est point altérée par la présence du fer, tant que celui-ci n'est pas en proportion dominante. A mesure que la prépondérance du fer devient plus grande, le dosage volumétrique se fait avec moins d'exactitude.

Il conviendra donc de réserver l'emploi direct de ce procédé pour des substances contenant au moins 35 à 40 p. 100 de manganèse et, de préférence, pour celles qui renferment plus de manganèse que de fer ; tel est le cas de tous les minerais de manganèse proprement dits et celui des ferromanganèses riches, dont la teneur peut varier depuis 40 jusqu'à 80 p. 100 et davantage.

Lorsqu'on a affaire à des ferromanganèses de titre peu élevé, des spiegels, des fontes manganésées ou même des minerais de fer manganésifères, on peut encore se servir du même procédé, mais en ayant soin d'éliminer la majeure partie du fer par une opération préalable.

Dans ce but, on aura recours à la méthode de l'acide nitrique concentré ($d = 1,35$) et du chlorate de potasse, qu'on projette par portions dans le liquide chauffé vers 100° ; le résidu insoluble contient tout le manganèse à l'état de bioxyde avec une petite quantité de peroxyde de fer.

Après cette opération imparfaite, on peut, comme je l'ai dit plus haut, sans se préoccuper de l'oxyde de fer restant, terminer par un dosage volumétrique du bioxyde MnO^2, à la condition d'avoir très bien lavé le résidu et de n'y avoir laissé aucune trace d'acide azotique ou de chlorate de potasse.

On peut aussi redissoudre le peroxyde par un peu d'acide azotique avec de l'eau oxygénée, précipiter par l'ammoniaque en excès et porter à l'ébullition, puis filtrer et procéder au dosage volumétrique sur le suroxyde Mn^6O^{11}.

Les deux procédés sont également exacts.

Je ferai enfin observer que, dans tous les cas où le manganèse est en proportion comparable ou supérieure à celle du fer, on peut effectuer, par deux opérations successives très simples, le dosage des deux métaux. Ayant, en effet, précipité ensemble par l'eau oxygénée et l'ammoniaque les deux oxydes Mn^6O^{11} et Fe^2O^3, on dosera le *manganèse* en versant une quantité mesurée d'acide oxalique et ensuite du permanganate titré jusqu'à coloration rose. A ce moment, tout l'acide oxalique ayant été détruit, on opérera la réduction du sel ferrique par le zinc et l'acide sulfurique et on fera le dosage volumétrique du *fer* par le permanganate.

J'ai vérifié que ce double dosage volumétrique, très facile à pratiquer et très rapide, fournit un dosage exact des deux métaux, soit que l'on opère sur des ferromanganèses riches, soit que l'on analyse des minerais de manganèse, où ce métal est toujours en proportion dominante par rapport au fer.

BULLETIN

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUTRICHE EN 1893.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉ	VALEUR	PRIX MOYEN
1° *Mines.*			
	tonnes	francs	fr. c.
Houille	9.732.651	82.868.161	8,51
Lignite	16.815.955	84.100.924	5,01
Roches asphaltiques	88	3.213	36,51
Minerai de fer	1.109.111	6.131.012	5,53
— de plomb	10.696	2.099.176	196,26
— de cuivre	8.576	781.142	91,08
— de zinc	30.531	1.149.148	37,64
— d'étain	26	6.770	260,38
— d'or	477	108.154	226,74
— d'argent	18.018	8.436.789	468,24
— de mercure	76.215	1.816 668	23,83
— d'antimoine	441	125.249	284,01
— de manganèse	5.411	144.658	26,73
— de bismuth	797	53.890	67,60
— de wolfram	43	24.863	578,20
— de cobalt	3.020	186.063	61,61
— d'uranium	21	70.758	3.369,43
— de soufre	1.950	50.598	25,94
Graphite	23.807	1.575.539	66,71
Sel	311.652	50.487.852	162,00
2° *Usines.*			
Fonte	663.315	59.739.625	90,06
Plomb	7.212	2.726.485	378,04
Litharge	2.411	871.041	361,28
Cuivre	944	1.403.506	1.486,76
Zinc	5.870	2.995.391	510,29
Etain	66	189.491	2.871,00
Mercure	512	2.639.232	5.154,75
Antimoine	175	182.879	1.045,02
	kilogr.		
Or	35	129.690	3.705,43
Argent	37.344	8.225.755	220,27
Bismuth	584	13.158	22,53

(*Extrait du* Statistisches Jahrbuch des K. K. Ackerbauministeriums für 1893.)

NOTE SUR LES CONDITIONS ÉCONOMIQUES DES MINES DE SOUFRE EN ITALIE.

Les mines de soufre traversent, en Italie, une crise très violente due à la baisse des prix de vente qui, de 1891 à 1893, ont passé d'une moyenne de 112f,57 la tonne à 70f,90, soit une perte de 37 p. 100, tandis que l'extraction est montée de 395.000 à 418.000 tonnes, dont 375.000 tonnes proviennent de Sicile (*). C'est donc surtout la Sicile qui est atteinte. Voici, d'après une traduction littérale, comment l'administration italienne explique cette situation dans le rapport d'ensemble qui précède le compte rendu du service des mines en 1893 (*Revista del Servizio Minerario nel* 1893) :

« On sait qu'en Sicile les mines de soufre appartiennent aux propriétaires de la surface. Bien peu d'entre eux exploitent les gîtes de leurs tréfonds. Le plus souvent ils donnent leurs terrains en amodiation, en *gabella*, comme on le dit, à des exploitants qui prennent de là le nom de *gabellotti*. Dans ces contrats, qui sont à peu près tous faits sur le même type, les deux clauses les plus importantes concernent la durée et le taux ou la redevance d'amodiation. La durée dépasse rarement 20 ans; elle oscille entre 9 et 12; le taux de l'amodiation, qui se nomme l'*estaglio*, varie de 10 jusqu'à 35 et même 40 p. 100, ce dernier taux s'appliquant au soufre provenant de parties souterraines incendiées; d'après une statistique de 1890, le taux moyen d'amodiation serait de 22 p. 100. En dehors de ces deux clauses, les contrats de *gabella* en contiennent beaucoup d'autres, d'ordre économique ou technique, qui ne sont pas seulement très lourdes pour l'amodiataire, mais encore restreignent considérablement sa liberté d'action.

« On ne doit pas oublier que dans les districts à soufre la propriété superficiaire est ultra-morcelée, et, à raison des prétentions des propriétaires qui veulent qu'une mine corresponde à chaque orifice, il se constitue des champs d'exploitation à contours irréguliers et divisés qui souvent n'ont qu'une étendue de quelques ares.

« Il est notoire aujourd'hui qu'une entreprise de mines ne

(*) Cette production résulte du traitement de 2.696.049 tonnes de minerai d'une teneur moyenne de 13,9 p. 100.

peut prendre le développement et ne peut donner les résultats qu'elle comporte si elle ne dispose pas :

« *a*) D'un champ suffisamment étendu pour correspondre aux installations mécaniques devenues indispensables;

« *b*) Une durée suffisante pour permettre l'abatage dudit champ;

« *c*) Les sommes nécessaires pour faire face aux dépenses d'installation, de préparation des chantiers, d'exploitation du gîte, etc., et pour constituer un fonds de roulement important.

« Or en Sicile les champs d'exploitation correspondent à des terrains d'une superficie très limitée, parfois dérisoire; la durée des amodiations est toujours trop courte. Dès que manquent ces deux éléments primordiaux, l'espace et le temps, on ne doit pas s'étonner de voir manquer le troisième, le capital; il n'est pas aisé de décider une puissante compagnie ou un riche capitaliste à mettre ses capitaux dans une entreprise à laquelle feraient défaut, dès l'origine, les premières conditions de vitalité Ainsi s'explique que la classe des amodiataires se compose en grande partie de personnes dénuées des fonds nécessaires pour conduire la plus modeste exploitation et contraintes à se procurer à grand peine l'argent pour les besoins courants, en laissant une bonne partie du produit — environ 20 p. 100 — aux mains des usuriers. Par les mêmes raisons les *gabellotti* sont conduits à exploiter de la façon la plus fâcheuse, gaspillent le plus souvent une richesse qui ne se reproduit pas, et ils sont contraints à vendre à tout prix au grand profit des joueurs à la baisse.

« Il faut maintenant expliquer en quoi consiste ce jeu à la baisse.

« En Sicile le commerce d'exploitation du soufre est entre les mains de quelques maisons qui s'interposent entre les producteurs et les consommateurs. Depuis quelque temps les plus puissantes de ces maisons, établies principalement à Messine et à Catane, paraissent avoir trouvé de grands profits dans la dépression des cours, et voici comment elles l'obtiennent : elles commencent par proposer à leurs correspondants étrangers l'acquisition de fortes parties et cherchent à les décider par des prix réduits. Ces propositions sont faites à découvert, c'est-à-dire sans que le vendeur se soit d'abord assuré la marchandise qu'il veut vendre. Les contrats passés, les maisons d'exportation ne reculent devant aucun moyen pour avoir au moindre prix possible le soufre dont elles ont besoin. Les moyens employés pour atteindre ce but consistent à signaler l'excès de la production, l'importance des stocks dans les ports (*) et le défaut de demandes. Or, ce défaut de demandes n'est que la conséquence du monopole des ventes entre les mains de ces spéculateurs. Si l'amodiataire pouvait garder son soufre pendant un temps suffisant pour se le faire demander au lieu d'avoir à l'offrir, le jeu à la baisse serait perdu et les prix devraient nécessairement monter. Mais l'amodiataire a d'autant plus de besoins que l'industrie est plus languissante; il lui faut donc réaliser sa marchandise en favorisant les menées des baissiers, qui finissent toujours par avoir partie gagnée.

« Ces brèves observations paraissent devoir suffire pour montrer la nécessité urgente de prendre des mesures efficaces pour supprimer graduellement, voire même radicalement les maux très sérieux qu'on a à déplorer. On ne veut pas ici discuter ces mesures : on dira seulement que, pour atteindre ce but, elles doivent avoir essentiellement pour objet de restreindre dans des limites plus équitables les exigences excessives des propriétaires du sol; après quoi l'industrie des soufres, en Sicile, entrera certainement dans une nouvelle voie, assurant aux capitaux qui y seront consacrés de beaux bénéfices, aux propriétaires superficiaires une meilleure utilisation des gîtes de leurs tréfonds, et substituant pour les ouvriers (**) une vie confortable à la misère actuelle. »

L. A.

(*) Les stocks dans les ports ne laissent pas, en effet, d'être fort importants; le rapport les évalue au 31 décembre 1893 à 213 000 tonnes, soit à 57 p. 100 de la production de l'année et l'augmentation sur 1892 serait de 19.000 tonnes; mais par contre les stocks sur place à l'intérieur ont diminué de 16.000 tonnes; de sorte que le stock réel ne paraît pas avoir varié dans l'année 1893.

(**) Le nombre des ouvriers occupés dans les mines de Sicile est de 30.886.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

ITALIE.

Loi du 30 mars 1893 et règlement du 14 janvier 1894 sur la police des mines, carrières et tourbières.

Le royaume d'Italie n'a pas pu, on le sait, réaliser l'unité de législation en matière de propriété minérale. Les principes admis sur ce sujet dans les divers États réunis sous le sceptre de la maison de Savoie étaient trop différents. Des intérêts trop puissants ont, depuis l'annexion, rendu toute conciliation impossible. Si l'on ne pouvait s'entendre sur l'attribution de la propriété des mines, il était moins difficile de régulariser la police de leurs exploitations. Dès 1865, un règlement général, promulgué par décret royal du 23 décembre, avait édicté un régime uniforme pour toutes les provinces dans lesquelles n'était pas appliquée la loi piémontaise du 20 novembre 1859; les principes de cette loi avaient inspiré ce décret qui réalisait donc en quelque sorte l'uniformité de fait dans tout le royaume en matière de police d'exploitations minérales. Néanmoins les actes restaient différents en la forme et parfois au fond sur certains points. L'unification absolue, tant au fond que dans la forme, vient d'être effectivement réalisée pour toute l'Italie par une loi du 30 mars 1893 qu'a complétée un règlement du 14 janvier 1894.

Nous voudrions résumer ici les dispositions essentielles de ces deux actes.

Ils touchent à deux côtés de la législation des mines : d'une part, ils fixent des principes qui, en dehors de l'attribution de la propriété des mines, intéressent l'essence même de la jouissance de cette propriété, en ce qui concerne les relations de l'exploitant avec l'administration et avec les exploitants voisins; d'autre part, ils donnent certaines règles techniques que l'exploitant doit observer dans la conduite de ses travaux. Nous passerons plus rapidement sur cette seconde partie où, comme nous le verrons, la nouvelle réglementation italienne ne présente rien de particulièrement intéressant.

Le principe fondamental est que toutes les exploitations—mines, carrières de tout genre et tourbières (L., art. 3)(*)—sont soumises, au même titre et dans les mêmes conditions, à la surveillance administrative qui doit veiller à ce que les travaux soient conduits de manière à assurer la sécurité et la santé(**) des personnes et à ne pas compromettre la sécurité des bâtiments, routes et cours d'eau superincombants ou voisins (***).

Cette surveillance s'exerce, sous l'autorité du ministre de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, par les ingénieurs des mines et agents sous leurs ordres (****) « ou par d'autres fonctionnaires à ce délégués par ledit ministre » (L., art 3).

Le préfet est l'agent direct qui, sur la proposition des ingénieurs, après avoir entendu l'exploitant, prescrit les mesures nécessaires en vue d'atteindre le but pour lequel a été constituée la police minérale (L., art. 5)(*****), le préfet pouvant, comme sanction à ces prescriptions, interdire, en tout ou en partie, la continuation des travaux (L., art. 14), sans préjudice des sanctions pénales (******).

(*) Nous distinguons par L, les dispositions de la loi et par R, celles du règlement.

(**) Le mot de « santé », introduit dans le nouveau régime une addition importante ; cette stipulation, analogue à celle qui dès 1865 figurait dans la législation allemande, permet à l'administration d'intervenir légalement dans les questions d'hygiène industrielle et de salubrité, sans que son rôle soit limité aux seules questions de sécurité, comme dans notre système français.

(***) L'assimilation de toutes les substances minérales, sans distinction entre elles, au point de vue de la police technique de leur exploitation, répond à une idée logique et rationnelle ; il est certain, en effet, que les dangers de son exploitation sont indépendants de la concessibilité ou de la non-concessibilité d'une substance, question d'un autre ordre, essentiellement contingente dans chaque pays : la houille n'est pas concessible en Saxe royale, ni le soufre en Sicile. L'assimilation, à cet égard, est d'autant plus justifiée en Italie, que la loi permet à tous les exploitants sans distinction, de recourir à la déclaration d'utilité publique pour l'exécution des travaux de secours nécessaires (V. ci-dessous ce qui concerne L, art. 13), et les met, par suite, dans une situation analogue au regard des propriétés superficiaires.

(****) Ces agents constituent les « aiutanti ».

(*****) Le règlement, dans les articles 14 et 15, a organisé une procédure qui paraît de nature à faciliter l'action administrative. Si l'exploitant admet les observations faites et les mesures proposées par l'ingénieur des mines au cours de sa visite, il est dressé un procès-verbal contradictoire qui est simplement envoyé au préfet sans que celui-ci ait à intervenir. Il ne le fait que si l'exploitant conteste les observations et s'oppose aux propositions de l'ingénieur dans un dire motivé qui est consigné au procès-verbal de l'ingénieur, ou encore si, après avoir adhéré aux propositions de l'ingénieur, l'exploitant n'a rien fait.

(******) La peine est une amende de 50 à 1.000 francs.

Les décisions du préfet, tant sur le fond que sur la suspension des travaux, peuvent, dans les dix jours de la notification, être déférées au ministre, qui statue après avis du conseil des mines; l'appel est suspensif sauf en cas d'urgence (L., art. 16).

Outre son action sur la conduite des travaux, analogue, on le voit, à celle de notre droit français, l'administration italienne, intervenant suivant la même procédure et avec les mêmes sanctions civiles et pénales, peut aussi, à l'imitation ici du droit prussien, faire remplacer tout agent du personnel de la direction et de la surveillance (*) qu'elle juge incapable de remplir son poste ou faire augmenter ce personnel (L, art. 5; R., art. 16 et 17) (**).

L'administration intervient également de la même manière lorsque les travaux d'une exploitation — mine, carrière ou tourbière — mettent en péril une autre exploitation; elle peut les soumettre à une direction unique pour tout ce qui intéresse la sécurité des travaux (L., art. 12). A défaut d'entente entre les intéressés, elle fixe la part incombant à chacun dans les travaux communs, et elle désigne le directeur (R., art. 41).

En cas d'accident ayant entraîné la mort ou des blessures graves, comme aussi dans les cas où la sécurité des personnes, celle des bâtiments, routes et cours d'eau serait menacée, avis immédiat est donné à l'autorité locale et à l'ingénieur des mines (L., art. 15; R., art. 43). Les lieux doivent être laissés en l'état jusqu'à leur arrivée, hors des cas qui pourraient entraîner de nouveaux accidents ou mettre en danger la sécurité de l'exploitation (R., art. 44). Les travaux de sauvetage et ceux nécessaires pour éviter tout danger sont exécutés par les soins de la direction de l'exploitation, sous le contrôle et l'approbation de l'ingénieur des mines, dont l'avis prévaut en cas de dissentiment sur les mesures à prendre (R., art. 46). Ces travaux sont faits aux frais de l'exploitant, avec faculté pour l'administration de requérir, à charge aussi dudit exploitant, les ressources en personnel et matériel des exploitants voisins (L., art. 15; R., art. 47).

(*) Pour faciliter cette surveillance, l'exploitant est tenu (L., art. 1) de notifier, dans les dix jours de tout changement, suivant procès-verbal dressé par la mairie, les noms de tous ceux chargés de la direction et de la surveillance de son exploitation.

(**) Cette intervention relative au personnel, peut se régler par accord entre l'ingénieur et l'exploitant, comme pour la conduite des travaux, dans la forme indiquée à la note (*****) de la page précédente (R., art. 16 et 17).

En cas d'accident de personne, l'ingénieur transmet son procès-verbal à l'autorité judiciaire ainsi qu'au préfet (R., art. 45).

Aucune fouille pour extraction de substances minérales ne peut être faite à moins de 20 mètres des habitations, des lieux clos de murs et des voies publiques, ni à moins de 50 mètres des cours d'eau, canaux, aqueducs et sources, sans une autorisation spéciale du préfet qui fixe en outre, s'il y a lieu, la caution préalable à déposer dans une caisse publique pour la réparation des dommages (L., art. 6 et 7; R., art. 18 à 21).

Une pareille zone protège, contre les sondages, les sources minérales ou thermales d'usage thérapeutique (*Id.*).

Ces distances peuvent être augmentées par l'administration (*Id.*).

Les exploitants doivent avoir sur place, suivant ce que décide dans chaque cas l'administration, les médicaments, moyens de secours et appareils de sauvetage jugés nécessaires, en nature et en quantité, pour leur personnel; l'administration peut leur imposer, individuellement ou réunis en groupe, l'obligation d'entretenir un médecin (L., art. 14; R., art. 37 à 39) (*).

Tous les travaux à exécuter hors des terrains appartenant à l'exploitant soit pour assurer la sécurité, soit pour régulariser la ventilation ou l'écoulement des eaux de toute exploitation minérale quelle qu'elle soit, — mine, carrière ou tourbière, — peuvent être faits par voie de déclaration d'utilité publique (L, art. 13).

Nous passerons rapidement sur les dispositions techniques de la loi et des règlements, qui complètent, dans le détail de l'application, les principes ci-dessus exposés; ces dispositions sont généralement simples, analogues à celles de tous les règlements de cette nature, du moins dans les pays ou districts relativement encore peu réglementés à cet égard.

Telles sont les prescriptions sur les plans, obligatoires pour toute exploitation souterraine, à lever d'office aux frais de l'exploitant en cas d'absence ou d'inexactitude (L., art. 2); les règles sur le tirage à la mine ou l'emploi des explosifs (**).

(*) La réglementation italienne ne fait pas de distinction, en matière de secours médicaux et pharmaceutiques, entre l'accident et la maladie.

(**) On doit relever, que l'article 23 du règlement ne permet, dans les mines contenant des gaz inflammables ou dont la substance minérale est inflammable, lorsque le tirage à la mine n'y a pas été interdit, d'introduire que la consommation quotidienne d'explosifs; dans les autres mines, on n'y peut approvisionner plus de la consommation de la semaine, si ce n'est

Pour l'éclairage des exploitations contenant des gaz inflammables ou explosifs, l'on se borne à demander des lampes de sûreté fermées à clef (R., art. 29).

Les dispositions sur l'aérage naturel ou artificiel sont aussi très simples (*) ; comme aussi celles sur les voies d'entrée et de sortie du personnel et sur la police de la circulation (**).

Mentionnons que le règlement (art. 9) exige deux issues au jour pour toute exploitation souterraine, sauf dans les travaux préparatoires, les petites exploitations occupant moins de vingt ouvriers et le cas d'une permission justifiée par des circonstances spéciales ; il interdit (art. 11), dans les travaux à ciel ouvert, les surplombs et y prescrit en principe les gradins.

Nous relèverons enfin cette règle de la loi (L., art. 10), d'après laquelle les appareils d'extraction mécanique, par puits ou galeries, doivent être guidés et munis des engins de sûreté tels que freins, parachutes ou autres analogues, de nature à prévenir les chutes en cas de rupture du câble ou de toute autre avarie semblable, le préfet pouvant accorder des dispenses quand les appareils ne servent qu'à l'extraction des produits.

Toutes les règles de la loi et du règlement sur les travaux d'exploitation, s'appliquent aux travaux de recherche de toute substance minérale (L., art. 18).

L. A.

---

dans des galeries abandonnées sans communication avec les quartiers d'exploitation.

(*) Aux termes de l'article 31 du règlement, dans les mines à gaz inflammables ou explosifs, ou dont la substance minérale est sujette à inflammation, on doit, autant que possible, rendre indépendant l'aérage de chaque chantier. L'exploitant doit entretenir à l'intérieur de ces mines des dépôts d'eau et des pompes portatives.

(**) D'après l'article 32 du règlement, l'entrée et la sortie des ouvriers et le portage à dos doivent toujours se faire par les voies d'entrée d'air, et lorsque les mines sont profondes et sujettes à incendie, ces voies de circulation doivent avoir un aérage indépendant de celui des chantiers.

LES PLANS INCLINÉS AÉRIENS

DE

LA SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION DE MINES DE NICKEL

EN NOUVELLE-CALÉDONIE (*)

Par M. L. BABU, Ingénieur au Corps des mines,
Directeur de la Société d'Exploitation de mines de nickel.

BIBLIOTHÈQUE

I. — Définition et utilité des plans aériens.

Divers modes de transports aériens. — On donne souvent le nom de *plans inclinés aériens* à toute installation de transport sur câbles. C'est là une expression inexacte qui peut donner une idée fausse du mode d'application de ces transports. On ne peut pas plus assimiler à un plan incliné aérien le grand transport sur câbles, de 30 kilomètres de longueur, qui fonctionne en Hongrie à Vajda Hunyad Gyalar, que confondre avec un plan incliné ordinaire la chaîne flottante de Dicido, près Santander, celle d'Aïn-Sedma à Tamanar, ou bien encore les traînages mécaniques des charbonnages de Mariemont.

(*) La *Société d'exploitation de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie* possède deux centres d'exploitation situés tous deux sur la côte Est de la Nouvelle-Calédonie. Le centre de *Nakéty* est au voisinage immédiat de la mer ; le centre de *Kouaoua* est à 6 kilomètres dans l'intérieur. Il est ici question des plans aériens de Kouaoua.

Je rappelle que les transports sur câbles peuvent se classer en catégories qui sont comparables chacune à des modes de transport ordinaires sur terre.

Parmi ces derniers, le plus simple est l'envoi sur des surfaces inclinées ; l'objet à transporter, librement abandonné, obéit à l'action de la pesanteur et suit le chemin en pente qui lui a été préparé. C'est le *couloir* en bois ou en tôle, la *glissière* qu'on rencontre dans toutes les mines ; il s'applique avec des pentes convenables, soit à des minerais en sacs, soit à des minerais en vrac. Les transports aériens par *câble unique* sont tout à fait analogues, mais ils s'appliquent seulement à des minerais en sacs.

Très en usage sur les petites mines de nickel et de cobalt de la Nouvelle-Calédonie, les *câbles uniques* sont d'une installation rapide et peu coûteuse. On expédie librement le sac suspendu à une roulette ou à un crochet en bois graissé ; de là les expressions de *câble à roulettes* et de *câble à crochets*. Le choc, à l'arrivée, est amorti par un gros paquet de broussaille ou de jonc, dit *tampon*.

Point n'est besoin de décrire ici les *plans inclinés* ordinaires. Deux chariots, dont un chargé, réunis par un câble de tête, rarement par un câble de queue, circulent en sens inverse sur deux voies parallèles ; le plan peut être automoteur, bisautomoteur ; il peut nécessiter l'action d'un moteur si le point d'arrivée est plus haut que le point de départ. La vitesse peut être réglée par un régulateur à ailettes, et l'arrêt est obtenu par le frein de la machine du haut du plan. Un *plan aérien* fonctionne dans les mêmes conditions ; c'est un plan ordinaire dans lequel la double voie est formée par deux câbles ; il peut être automoteur ; il peut également fonctionner sous l'action d'un moteur pour remonter des charges. Câbles ou rails, les deux voies supportent alternativement la même charge ; le mouvement est alternatif et périodique, la charge en mouvement est unique.

L'idée inverse préside à l'installation des *chaînes flottantes*. Ici le mouvement est continu, toujours dans le même sens ; la charge roulante est périodiquement répartie dans l'espace sur une seule voie ; la seconde voie sert seulement au retour des véhicules vides. Si l'on remplace les voies sur le sol par des câbles aériens et la chaîne sans fin par un câble tracteur sans fin, on obtient les transports sur câbles à grand trafic tels qu'ils sont appliqués très en grand dans beaucoup de mines américaines. On les trouve d'ailleurs aussi très répandus en Europe ; celui de 30 kilomètres, en Hongrie, cité tout à l'heure, en est un exemple intéressant. Il n'y a pas de mot français pour désigner ce mode de transport ; on pourrait l'appeler par analogie *chaîne flottante aérienne*. Les Allemands qui ont fait de nombreuses applications de ces transports semblent particulièrement les désigner par le mot *Drahtseilbahn ;* ils réservent de préférence le mot *Drahtreise* pour les plans aériens.

Il ne faut pas confondre non plus avec les plans aériens ce que les Allemands appellent *Drahtseile*, mot qui désigne les transports par câble à la fois porteur et moteur. C'est là encore un autre mode de transport bien distinct des précédents. Si l'on supprime les câbles porteurs dans une chaîne flottante aérienne, et si l'on rend le câble tracteur capable de porter les charges en mouvement, on a ce *Drahtseile* qu'on peut désigner sous le nom de *système du câble sans fin* ou de *câble noria*. La charge ne roule plus, elle est fixée à un câble en mouvement sur lequel elle est périodiquement répartie ; c'est un mode de transport identique à celui de la *toile sans fin* ou de la *noria*, dont l'usage est constant pour le transport et l'ensilage des grains dans les docks et qu'on retrouve dans tous les ateliers de préparation mécanique pour le transport des minerais petits ou gros.

Ce que je désigne sous le nom de *plan incliné aérien*

est donc un mode de transport bien défini. Tout à fait analogue à un plan incliné ordinaire, il en présente tous les avantages, il en présente aussi tous les inconvénients.

Transports sur câble unique. — On conçoit que les *câbles uniques*, excellents pour les mines de peu d'importance dont la production ne dépasse pas deux à trois tonnes par jour, ne puissent pas desservir des exploitations un peu plus considérables. C'est cependant de beaucoup le mode de transport le plus répandu sur les mines de la Calédonie. Les sacs vides, les roulettes, les élingues doivent être remontés à dos d'homme, ou à dos de cheval ; il en est de même des outils et du matériel nécessaires à l'exploitation. Quelquefois pourtant, dans des mines un peu importantes, les câbles uniques sont utilisés pour desservir les chantiers isolés à faible production. Leur installation est si peu coûteuse, qu'il convient également de les établir avant tout autre système de transport dans la période de recherche qui suit la période de prospection et précède la période d'exploitation. On peut ainsi tirer parti immédiatement du minerai donné par les travaux de recherches ; et, ceux-ci ne rencontrent-ils que des gîtes peu riches ou peu étendus, les installations de trafic se bornent à ces câbles uniques ; il n'y a pas eu de capital immobilisé dans des installations plus coûteuses et inutiles.

Je crois devoir ici insister sur ces *câbles uniques* parce qu'on se fait difficilement idée du parti qu'on en peut tirer dans les montagnes à pentes rapides et boisées de la Nouvelle-Calédonie. Il est inutile de mettre en œuvre de gros câbles ; des câbles d'acier de 10 millimètres de diamètre sont toujours suffisants ; et, pourvu que la pente soit suffisante, on peut relier par un câble d'une seule portée des points distants de 1.000 mètres, de

1.200 mètres même. La capacité de trafic peut atteindre 15 tonnes par journée de neuf heures, et il suffit de deux hommes à la tête du câble pour expédier les sacs, et de deux hommes au pied pour les recevoir. C'est ainsi qu'ont été desservis, pendant toute la période des travaux de recherche et d'installation, les travaux de la mine *Loire*, à Kouaoua. Pendant six mois, un câble à roulettes de 1.100 mètres, à pente de 10 grades, a suffi à la descente de 300 tonnes de minerai par mois. Il est vrai que pour la montée des roulettes, sacs vides, élingues, etc., on utilisait les plans aériens desservant une mine voisine ; remonté à un niveau supérieur aux chantiers de la *Loire*, ce petit matériel était ensuite expédié sur un câble à roulettes spécial de 750 mètres de portée.

Bien que par cette installation on eût évité toute remontée de matériel à dos de cheval, les câbles uniques ont été là cependant d'une exploitation extrêmement onéreuse par suite des pertes en minerai, sacs, roulettes, etc. Il arrive en effet fréquemment, surtout sur les câbles à faible pente, que des roulettes un peu usées ou mal graissées restent en route ; il faut alors provoquer la chute du sac, qui est perdu ainsi que le minerai qu'il contient, et la roulette se retrouve rarement. Sur les câbles à forte pente au contraire, l'arrivée trop rapide fait éclater le sac qui se brise sur le tampon, principalement en temps de pluie. Pendant les six mois d'exploitation de la mine *Loire* par câbles uniques, la perte de minerai a été de 6,5 p. 100 du minerai transporté.

La pente qui se prête le mieux au trafic par câble unique à roulettes est comprise entre 10 et 12 grades ; au-dessous, certains sacs restent en route, au-dessus, les sacs arrivent trop vite. L'usure maxima du câble a lieu à l'arrivée, au point où le sac vient frapper le tampon ou bien au point où le sac déraille si l'on a installé un déraileur un peu avant l'arrivée. En fait, un câble d'acier de

10 millimètres de diamètre, convenablement graissé, peut assurer la descente de 2.000 tonnes de minerai ; s'il vient à casser, c'est à sa partie inférieure, et il suffit de remplacer la partie usée longue seulement de quelques mètres.

Difficultés des transports en Nouvelle-Calédonie. — Dans l'exemple cité plus haut comme dans toute exploitation véritablement industrielle, les câbles uniques ont fait place aux plans inclinés aériens. Ceux-ci s'adaptent merveilleusement aux exploitations de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie. C'est sur des montagnes à pentes raides qui descendent sans transition soit dans les vallées, soit au bord de la mer, que se trouvent les gîtes de nickel. Dans la région serpentineuse, la seule où l'on ait rencontré ces gîtes, les vallées sont étroites et plates : une plaine sinueuse dont la largeur dépasse rarement 700 à 800 mètres et tombe quelquefois à 200 mètres, telle est par exemple la vallée de Kouaoua. Elle se développe sur 12 kilomètres à partir de la mer enserrée entre deux chaînes de montagnes dont la hauteur atteint plus de 500 mètres et dont les contreforts obligent la rivière à dessiner de nombreux méandres et boucles. Au delà des terrains serpentineux, dans les formations sédimentaires de la chaîne centrale de l'île, la vallée s'élargit en éventail, les pentes s'adoucissent et une vigoureuse végétation s'étage sur les montagnes encore habitées par d'assez nombreux Canaques. Que de grandes pluies viennent à tomber et le lit majeur de la rivière occupe toute la vallée d'où n'émergent plus que quelques touffes de bambou, des cocotiers, des bois de fer et des niaoulis. Plus curieuse encore est la vallée voisine de Cua-Méré. Un vaste bassin formé de terrains sédimentaires n'a de débouché sur la mer que par une coupure étroite et profonde dans les serpentines, vallée longue de 14 kilomètres et dont la largeur est seulement de 30 à 40 mètres aux points où se rapprochent les deux chaînes qui la dominent et l'enserrent.

Dans ces montagnes couvertes de grandes forêts ou d'une haute brousse les gîtes de nickel se rencontrent à des altitudes variables, mais généralement assez grandes. A Kouaoua, si le gisement exploité sur la mine *Loire* n'est qu'à 150 mètres d'altitude, les autres gîtes exploités sont à 400 mètres ; d'autres gîtes de la région dépassent 800 mètres. La difficulté du transport est accrue par les nombreux et profonds *creeks* qui échancrent les montagnes ; dès que les exploitations à ciel ouvert ont déboisé quelques ravins, les cônes de déjection de ces torrents deviennent mobiles, et, barrant quelquefois toute la vallée, par leur mobilité ils s'opposent à toute installation sur le sol.

Les plans aériens franchissent les ravins, passent pardessus les forêts, montent aux sommets des montagnes et vont chercher le minerai en des points à première vue inabordables. Cette merveilleuse souplesse d'adaptation aux terrains les plus difficiles résulte principalement de la grande longueur qu'on peut leur donner sans appui intermédiaire. Les distances de 1.000 mètres sont facilement franchies, et la confiance qu'inspirent ces plans est telle, que malgré les défenses réitérées, il n'est pas rare de voir des ouvriers canaques et tonkinois et aussi des ouvriers blancs, installés sur les chariots des plans, passer à la vitesse de 20 mètres à la seconde à 200 mètres au-dessus de ravins où la chute serait mortelle.

Le système de la chaîne flottante aérienne ne serait là d'aucun secours ; dans les grandes portées, les charges périodiquement réparties nécessiteraient des câbles de gros diamètre dont l'apport à pied d'œuvre et la mise en place ne seraient pas possibles.

Ce sont là raisons suffisantes pour motiver l'adoption

des plans aériens; mais de plus, qu'elles soient dues à la malveillance, à la négligence du personnel, ou simplement à un défaut de fabrication, les ruptures d'un câble porteur ou d'un câble tracteur, dans un système à marche continue, seraient des accidents à peu près irréparables, et, dans tous les cas, interceptant le trafic pendant plusieurs semaines. Les vagonnets et leurs appareils d'accouplement au câble tracteur, brisés dans leur chute, ne pourraient être réparés et la valeur du matériel détruit grèverait lourdement le prix de revient du trafic.

Sans doute les plans aériens sont sujets à des accidents, plus nombreux même, mais leur importance est infiniment moindre et la remise en état du plan peut être faite en un ou deux jours. Simplicité du matériel, facilité de l'installation et des réparations sont des qualités indispensables à toute installation faite sur les mines de la Nouvelle-Calédonie. Les ouvriers d'art y sont rares, le plus souvent médiocres, et il faut plus de deux mois pour qu'une pièce de rechange partant de France puisse arriver sur les mines. C'est donc aux plans aériens qu'on s'est presque toujours arrêté, et c'est le seul mode de descente qui ait été appliqué aux mines de Kouaoua. Onze plans aériens y sont en service, leur longueur totale est voisine de 6 kilomètres, la longueur de chacun d'eux varie de 100 à 800 mètres.

Anciens plans aériens. — Il y a loin cependant des plans aériens actuels à ceux qui étaient en usage sur les mêmes mines il y a peu d'années. On ne concevait pas autrefois qu'un plan pût fonctionner si sa pente n'était pas supérieure à 20 grades; et, en effet, on ne pouvait pas alors descendre au-dessous de cette limite, sauf pour de très petites portées. Qu'on se figure un bâti en bois, plus ou moins branlant, supportant une poulie en bois de $0^m,60$ de diamètre, mal centrée sur un axe en fer :

c'était toute la machinerie du plan. Comme câble tracteur un filin en chanvre de 12 à 20 millimètres traînant dans les ravins où il fallait le supporter par des tréteaux en bois; comme roues de chariots de petites poulies en fonte brute de $0^m,12$ à $0^m,14$ montées sur un châssis en bois : les résistances passives étaient si grandes que seules les fortes pentes se prêtaient à de pareilles installations. Ces systèmes primitifs sont précieux pour les petits exploitants de mines. Sans autre matériel que quelques centaines de mètres de câble porteur et une glène de filin manille, un mineur n'hésite pas à monter un plan aérien vulgairement appelé *va-et-vient*. Un plateau suspendu au chariot par quatre cordes reçoit quatre sacs de minerai formant une charge totale de 150 à 200 kilogrammes.

Emploi des sacs pour les minerais de nickel. — L'usage des sacs pour le transport des minerais peut paraître singulièrement primitif et onéreux; il est cependant constant dans toutes les exploitations de la Nouvelle-Calédonie. Les petits mineurs ne peuvent pas s'en passer et, par cela même, la *Société le Nickel* et la *Société d'Exploitation* qui achètent leurs minerais se trouvent naturellement en possession d'un nombre considérable de sacs qu'elles mettent en service sur leurs propres exploitations. Plusieurs autres raisons ont également empêché de proscrire l'usage des sacs : peut-être un peu la routine, surtout le peu de continuité des gîtes de nickel qui oblige les exploitations à se déplacer souvent. Enfin, dans un pays où il pleut à torrents et où le minerai de nickel est presque toujours en poussières donnant des boues collantes, les trémies de grand volume que nécessitent les transports en vrac sont constamment hourdées. Cependant l'usage des sacs, rien que par l'ensachage et les manipulations à bras qu'il exige, est extrê-

mement onéreux ; on s'était proposé de le supprimer sur les mines de la Société d'Exploitation ; seule, la crise que subissent les exploitations calédoniennes par suite du défaut de débouchés, a empêché de réaliser cette grande amélioration.

Relais de plans. — Les plans aériens destinés au transport des sacs sont extrêmement simples. Les sacs, déchargés à bras au pied d'un plan, sont rechargés également à bras sur le plan suivant. Il n'y a pas de trémie d'installation coûteuse, ni de voies aériennes permettant aux vagonnets de passer d'un plan à l'autre ; un relai de plans entraîne des frais d'établissement insignifiants, il augmente seulement la main-d'œuvre du trafic.

Il vaut donc mieux multiplier les plans qu'installer des plans à supports intermédiaires. Tout support donne lieu à un point singulier qui demande des vagonnets relativement compliqués ; l'usure des câbles porteurs y est rapide et des déraillements s'y produisent fréquemment. Enfin, la capacité de trafic du système des plans se trouve diminuée de plus de moitié par un support. Laissant de côté les plans à supports intermédiaires, je ne considère dans ce qui va suivre que les plans d'une seule portée, à chariots fixés au câble tracteur et utilisés pour le transport de minerais en sacs. Ce sont de tels plans qui ont été installés à Kouaoua, et, malgré sa simplicité, un système de plans étagés arrive facilement à passer 60 à 80 tonnes dans une journée de travail, soit environ 2.000 tonnes par mois.

II. — Matériel des plans aériens.

On a réalisé les installations des plans aériens avec un matériel très peu compliqué. Dans un pays tel que la

Nouvelle-Calédonie, très distant des usines de fabrication et de réparation, il faut se défier des appareils délicats ; il faut même les proscrire impitoyablement quelle que soit l'élégance qu'ils apportent dans la réalisation d'un projet. Importe-t-il d'avoir le matériel le mieux approprié pour chaque plan considéré isolément, pas davantage. Si l'on adopte pour chaque plan des types de câbles de grosseurs ou de misages différents, il faut en magasin des approvisionnements de chaque variété ; de là un capital immobilisé et des magasins fort chers à construire. Néglige-t-on l'entretien des câbles sur bobines, la chaleur et l'humidité les ont vite complètement rouillés et, au bout de quelques mois, ces câbles sont inutilisables.

Bien différent est d'ailleurs l'établissement des projets sur les mines calédoniennes ou dans nos exploitations d'Europe. Ici l'on a, en général, du temps devant soi ; là, il faut arriver au but le plus vite possible. On ne se propose pas de faire des installations modèles d'après un projet soigneusement étudié ; le temps presse, les frais généraux s'accumulent, ils sont trois, quatre fois plus élevés qu'en France ; il importe que l'exploitation ait pris sa marche normale à bref délai. Le matériel est déjà en route et le projet de trafic n'est pas terminé ; en France, on commanderait ce matériel en se basant sur le projet étudié ; en Nouvelle-Calédonie, le projet étudié doit pouvoir être réalisé avec un matériel déterminé.

On pourrait, il est vrai, s'approvisionner de matériel en Australie ; mais il faut alors aller chercher soi-même son matériel. On s'expose aux plus graves mécomptes en usant d'intermédiaires ; quelle que soit la précision des commandes, les habitudes et les mesures anglaises sont tellement différentes des nôtres que le matériel envoyé est souvent peu conforme à celui qu'on avait en vue.

Les appareils qui composent un plan aérien sont de deux sortes : les uns constituent la voie, ce sont les appareils fixes, les autres sont les appareils en mouvement. Je les examinerai successivement.

1° Appareils fixes d'un plan aérien.

Les appareils fixes constituent la voie du plan ou servent à l'établir. Les câbles porteurs tendus parallèlement dessinent une chaînette reliant le point de départ au point d'arrivée ; ils sont maintenus par des amarrages qui font équilibre à leur tension. On n'applique pas le système des contrepoids en haut ou en bas ; les extrémités des câbles sont fixes, et on conçoit que cette simplification puisse être réalisée par suite des variations de température assez faibles du climat calédonien. Sans doute il peut arriver qu'au mois de janvier, la température d'un câble goudronné exposé au soleil dépasse 50°, mais on n'est pas exposé à voir la tension augmenter d'une manière inquiétante dans les nuits d'hiver. Au mois de juin, le thermomètre ne descend guère au-dessous de 12°. Les appareils fixes comprennent donc simplement :

a. Les câbles porteurs proprement dits ;
b. L'amarrage du haut du plan ;
c. L'amarrage du bas.

a. *Câbles porteurs*. — On fabrique des câbles de toutes les dimensions et de tous les misages ; les usines livrent couramment de petits câbles de 6 à 7 millimètres aussi bien que d'énormes aussières de 14 à 15 centimètres. Veut-on des câbles très lisses, on les choisit à un seul toron ; les veut-on souples et résistants, on les demande formés d'aussières à plusieurs torons. C'est aux premiers qu'on devrait théoriquement donner la préférence

pour les câbles porteurs ; ils sont bien ronds et présentent aux poulies des chariots une surface de roulement très égale ; de là, diminution de la résistance et usure faible des poulies. Mais si un fil vient à casser, il se déroule, est entraîné par le chariot et cette simple rupture est un accident grave. Il faut arrêter le plan et envoyer un homme sur un chariot remettre le fil en place et perdre son extrémité dans l'âme en chanvre sous les autres fils. Cet accident très fréquent est sans importance dans les câbles à plusieurs torons, et on peut constater sur un câble dont le trafic n'a jamais été interrompu de nombreuses ruptures de fils sur quelques centimètres de longueur. Je rappelle d'ailleurs que, pour les câbles d'extraction dans les puits, la règle est d'arrêter seulement la descente des hommes lorsque le nombre des fils cassés par mètre courant est le dixième du nombre total des fils.

Parmi les câbles à plusieurs torons, quelle grosseur de fils, quel misage convient-il d'adopter? Si les fils fins s'usent, se coupent vite par le roulement et présentent une grande surface à l'oxydation, les câbles à fils gros sont peu souples, difficiles à manier ; l'épissure en est délicate. Les câbles à six torons composés de fils de 20 à 22 dixièmes de millimètre semblent s'adapter convenablement à l'usage des câbles porteurs de plans aériens. Si les torons sont enroulés en sens inverse des fils, ceux-ci se présentent à l'extérieur dans le sens de la longueur du câble ; l'usure des poulies et des fils est moins grande qu'avec la disposition inverse où les fils se présentent normalement à la longueur du câble.

La question du prix, plus ou moins élevé suivant le diamètre des fils et le misage, ne doit naturellement pas entrer en jeu. Peu importe que le prix de revient d'un plan s'élève de quelques centaines de francs si le fonctionnement est tant soit peu amélioré. A plus forte rai-

son dans le choix du métal composant les fils, on se laisse guider par la seule considération de faire aussi solide que possible. Que les fils ne se rompent pas dans un pliage à 30 centimètres de diamètre, et le câble peut fonctionner si sa résistance totale est supérieure à la réaction des amarres. On laisse donc de côté les fils de fer ou d'acier ordinaire pour exiger des aciers à grande résistance. Les catalogues des grandes tréfileries françaises offrent toutes les qualités de fils, depuis ceux en métal doux résistant seulement à 60 kilogrammes par millimètre carré jusqu'à ceux en acier dit extra-supérieur présentant une résistance de plus de 220 kilogrammes. On demande des *fils clairs*, la galvanisation adoucit le métal et diminue la résistance ; à résistance égale, il faudrait donc des câbles plus gros et on verra quelles difficultés soulève la mise en place de câbles de fort diamètre.

Ce ne sont pas difficultés inhérentes à la Nouvelle-Calédonie, il faut s'attendre à les retrouver dans tout pays primitif et montagneux. Elles se manifestent dès le débarquement. Le navire qui amène le câble doit le débarquer dans un chaland ; l'opération est facile à l'aide des apparaux dont dispose tout navire à vapeur. La mise à terre est plus compliquée, car le wharf, s'il y en a déjà un, est rarement outillé pour l'enlèvement de lourds fardeaux. Il faut admettre que pratiquement on ne peut pas aller au delà de trois tonnes ; on se trouve ainsi amené à commander dans les usines des tronçons de câble d'autant plus courts que le diamètre est plus gros. Pour des câbles trop lourds, il est nécessaire de les dévider dans le chaland en les enroulant à mesure sur une bobine à terre.

Le transport à terre est également un problème difficile à résoudre quand on ne dispose — comme c'était le cas, il y a peu de temps encore à Kouaoua, — que de chars

à bœufs parcourant des prairies défoncées et marécageuses. Souvent on doit se résoudre au transport en *glènes*, le seul applicable d'ailleurs dans les sentiers de la montagne. Tous ceux qui ont établi des câbles aériens connaissent bien ce mode de transport pour lequel il faut convoquer un nombreux personnel. Suivant l'état du chemin, on fait des glènes de 30 à 50 kilogrammes, séparées par des intervalles de 2 mètres. On dispose un ou deux hommes par glène ; à un signal donné, chacun charge sa glène sur l'épaule et la procession se met en marche dans la montagne, s'avançant lentement, souvent arrêtée par la fatigue ou par la chute d'un homme. Cela rappelle les longues théories d'esclaves qu'ont coutume de représenter les dessinateurs illustrant les récits de voyage dans l'Afrique centrale. Quand les porteurs sont noirs, l'illusion est complète. En chemin moyen, un homme porte dans la montagne 20 à 25 kilogrammes ; pour un câble de trois tonnes, il faut donc 120 à 150 porteurs, et il n'est pas toujours facile de recruter un pareil personnel en Nouvelle-Calédonie.

Cette pénible amenée à pied d'œuvre suffirait à faire écarter les câbles lourds ; la mise en place de ceux-ci soulève des difficultés encore plus grandes, et on conçoit qu'on n'ait pas dépassé souvent 20 à 22 millimètres comme diamètre des câbles porteurs aériens. Les dimensions en usage à Kouaoua sont 18 et 20 millimètres ; ces câbles ont toujours été suffisants.

Formés de 6 torons de 6 fils, ils sont composés comme il suit :

Câbles de 18^{mm} : 36 fils n° 13, jauge de Paris ;
— de 20 — n° 14 —

Le poids du premier est de 1^{kg},060 par mètre, le poids du second de 1^{kg},281.

J'admets que le câblage réduit aux 7/8 la résistance ; le premier câble, en acier résistant à 210 kilogrammes,

offre une résistance totale de 22 tonnes; ce chiffre s'abaisse à 19 tonnes pour le second câble, en acier résistant à 150 kilogrammes.

On ne craint pas de faire travailler les câbles de plans à 1/3 de leur résistance totale; il n'y a pas là d'existences humaines en jeu. Quelque regrettable que soit une rupture de câbles porteurs, il est ordinairement plus avantageux de s'y exposer que d'adopter des câbles plus gros présentant d'ailleurs à peu près les mêmes chances de rupture. En effet, si la résistance est proportionnelle à la section, de même la tension est proportionnelle à la section. En augmentant la section, on augmente donc la tension dans la même proportion, et il y a un très faible avantage au point de vue de la sécurité dans l'emploi de câbles de forts diamètres.

En résumé, on peut faire travailler normalement à six à sept tonnes les câbles en question et, même, on n'hésite pas à aller jusqu'à 10 tonnes, si, par suite du relief du sol, un très long plan amène une grande simplification dans le trafic. On a alors en réserve quelques câbles de rechange pour parer aux accidents.

Tant que les câbles sont en bon état, on n'a pas de ruptures; il faut au contraire les prévoir si, par négligence dans le graissage, une portion de câble vient à s'oxyder. Les câbles qui ont subi plusieurs transbordements avec un emballage défectueux sont sujets à ces accidents; l'eau de mer qui a pu les toucher amène une rapide oxydation. Il est donc important de demander aux usines un emballage parfait, sous toile goudronnée étanche, et, dans tous les cas, de visiter le câble à l'arrivée et de le goudronner avec grand soin. Je citerai à ce propos l'odyssée d'un câble de 18 millimètres et de 2.400 mètres, destiné aux mines de Kouaoua. Débarqué à Sydney pour le transbordement sur le bateau des îles Fidji, faisant escale à Nouméa, il fut débarqué par erreur

aux Fidji. Repris le mois suivant, il fut ramené à Sydney et de là à Nouméa où il resta quelque temps en magasin. On dut le rembarquer pour Kouaoua où il arriva en fort mauvais état; les 400 premiers mètres du dessus de la bobine, rongés par oxydation, ont été inutilisables.

Lorsqu'il est nécessaire, par exemple à la suite d'une rupture, d'ajouter bout à bout deux câbles, on fait une épissure. C'est un travail délicat qu'on ne peut confier qu'à un ouvrier expérimenté. Quelque soin qu'on y apporte, une épissure est toujours un point faible; la diminution de la résistance du câble dépend du plus ou moins d'habileté de l'ouvrier.

b. *Amarrage du haut du plan* (*fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. XVIII). — Les câbles porteurs sont fixés en haut à des câbles d'amarre solidement ancrés dans le sol. Cet ancrage doit être fait avec le plus grand soin, on ne peut ensuite le visiter qu'à condition de le démolir entièrement. S'il y a rupture, elle se produit subitement, sans prévenir, et les hommes du haut du plan courent le plus grand danger. Il est donc prudent de renoncer à l'usage du bois; cependant si la durée du plan ne doit pas dépasser cinq à six années, on emploie les chênes de montagne ou les chênes d'Australie et également le gaïac qui se conservent bien en terre. On dispose cependant de superbes acacias, tamanous, kaoris et bois durs plus ou moins précieux, mais ce sont toutes essences d'une durée très courte en terre, il en serait d'ailleurs de même dans des galeries de mines.

Si l'on est dans la roche dure, il suffit d'une fosse de $0^m,60$ de large, 2 mètres de profondeur et 2 mètres de longueur. On établit, au fond, deux pièces de bois rond de $0^m,20$ à $0^m,25$ de diamètre qu'on fixe à l'aide de traverses solidement coincées dans des potelles pratiquées dans la roche. Par-dessus on remplit la fosse à l'aide de

blocs laissant le libre passage des câbles d'amarre, et à la sortie de terre, on courbe ceux-ci sur une forte pièce de bois. Les câbles d'amarre prennent exclusivement leur point d'appui sur les pièces de bois du fond de la fosse.

En général, on utilise comme câbles d'amarre des bouts de câbles porteurs. Si l'on a à sa disposition des câbles en fils galvanisés, on les emploie de préférence et on répartit la tension sur plusieurs brins solidement reliés entre eux à l'aide de *cravates* qui servent aussi à fixer le bout du câble porteur au câble d'amarre. Ces cravates sont formées de deux plaques de fer réunies par des boulons fortement serrés.

A quelques mètres en avant de l'amarrage, on relève les câbles porteurs à la hauteur voulue à l'aide de deux poteaux en bois assemblés sur une semelle et entretoisés. On laisse libre l'intervalle entre les poteaux à leur partie supérieure de manière à ne pas être gêné dans la mise en place de l'appareil du câble tracteur. Quelquefois on réunit les poteaux par un chapeau.

Pour que les poteaux n'aient pas de tendance à se renverser, l'angle du câble d'amarre avec l'horizon doit être égal à l'angle de départ des câbles porteurs. Les poteaux travaillent alors comme des pièces chargées debout.

Soit :

T_0 la tension en haut d'un câble porteur;
θ_0 l'angle de départ du câble;
P la charge d'un poteau.

On a :

$$P = T_0 2\sin\theta_0.$$

Je donne ci-après les valeurs de θ_0 en grades pour des valeurs de $2\sin\theta_0$ distantes de 0,1.

θ_0	$2\sin\theta_0$	θ_0	$2\sin\theta_0$
3,20	0,1	19,40	0,6
6,40	0,2	22,80	0,7
9,60	0,3	26,20	0,8
12,90	0,4	29,80	0,9
16,40	0,5	83,40	1,0

Pour des plans d'inclinaison moyenne, la charge d'un poteau est donc comparable à la tension du câble et elle atteint souvent 7 à 8 tonnes. Aussi est-il nécessaire d'établir sous la semelle un mur en pierre élevé directement sur la roche solide.

c. *Amarrage du pied du plan* (*fig.* 5, 6 et 7, Pl. XVIII, et *fig.* 9, Pl. XIX). — Bien que la tension la plus forte des câbles porteurs existe en haut du plan, c'est cependant l'amarrage du bas qui donne lieu aux accidents les plus fréquents. Sauf dans certains cas spéciaux, la mise en tension des câbles se fait par le bas, et, pour faciliter ce travail, toujours difficile, quand il s'agit de plans à longue portée, l'amarrage du bas diffère complètement de celui du haut. Il n'y a pas de câbles d'amarre, le câble porteur est simplement enroulé autour d'un poteau solidement fixé en terre. Si l'on dispose d'une place suffisante, il est commode d'établir pour chaque câble deux poteaux qui servent de points d'appui à une pièce de bois rond de $0^m,30$ de diamètre, disposée horizontalement derrière eux et sur laquelle le câble porteur fait plusieurs tours (*fig.* 8 et 9, Pl. XVIII). A l'aide de barres d'anspect, on peut faire tourner ce rouleau à la manière d'un treuil, et cette disposition est commode pour prendre le mou des câbles pendant leur mise en tension à l'aide de palans et de treuils.

Dans tous les cas, les poteaux, dont le diamètre pour les grands plans ne descend pas au-dessous de $0^m,25$, sont établis dans une fosse de $2^m,50$ à 3 mètres de pro-

fondeur; ils ne dépassent pas le sol de plus de 1 mètre. D'autres poteaux de butée sont établis dans la fosse à $1^m,50$ en avant et servent de point d'appui à de solides étais. La fosse est ensuite remplie de pierres laissant entre elles le moins de vide possible.

On apporte le plus grand soin dans le choix des bois de cet appareil; parmi les essences calédoniennes, seuls le chêne et, à son défaut, le niaouli peuvent être utilisés. Les pièces sont flambées pour la partie enterrée et soigneusement coaltarées hors de terre.

On se rend compte facilement du travail auquel est soumis un poteau, qui peut être assimilé à un solide encastré à sa partie inférieure.

Soit:

d le diamètre du poteau;
h la hauteur du câble au-dessus du dernier étai;
T la tension du câble.

Le moment fléchissant est Th.

Le moment d'inertie de la section est $0,0491\,d^4$.

Le travail maximum est :

$$\Gamma = \frac{1}{0,0982}\,\frac{Th}{d^2},$$

en adoptant comme unités le mètre et le kilogramme.

Je suppose

$$h = 0,50,$$
$$d = 0,25,$$

conditions souvent réalisées dans la pratique; on a

$$\Gamma = 33\,T.$$

Pour les bois en usage, la résistance à la rupture peut être estimée à 6.000 tonnes par mètre carré. Si l'on fait travailler le bois à 1/20 seulement de cette résistance, soit à 300 tonnes par mètre carré, le poteau considéré

peut supporter une tension d'environ 10 tonnes. Cette tension n'est pas dépassée dans les plans dont il est ici question, et le poteau est par suite établi dans de bonnes conditions de sécurité.

Tel qu'il vient d'être décrit, l'appareil fixe d'un plan aérien ne présente donc, en dehors des câbles porteurs servant de voies, que 15 à 20 mètres de câbles d'amarre et environ 2 mètres cubes de bois qu'on trouve facilement sur place.

2° Appareils mobiles d'un plan aérien.

L'appareil mobile est un peu moins simple. Je n'aurai pourtant pas à parler de puissantes machines comme en présentaient les plans inclinés ordinaires établis par le Creusot à Saint-George-d'Hurtière, en Savoie, ni même comme celles plus simples d'Eisenerz et de Vordernberg, en Autriche. Là, les charges en mouvement sont des tonnes; dans les plans aériens ce sont quelques quintaux. En haut, point de tambours d'enroulement pour le câble tracteur; une poulie simple si la pente est faible; deux poulies conjuguées si la pente est plus forte. A terre, pas de rouleaux d'entretien coûteux et de graissage difficile; le câble tracteur n'a pas besoin de supports, sa tension est suffisante pour le maintenir soulevé à une grande hauteur.

C'est ici qu'apparaît le rôle du câble de queue. D'une application rare dans les plans inclinés ordinaires, ce câble de queue est en usage sur tous les plans aériens de Kouaoua. Ce n'est pas un câble d'équilibre, il a surtout pour but de régler la tension du câble de tête. Le profil en long du sol sous le plan est-il très concave, on donne une tension initiale faible; s'il y a des points saillants, on augmente la tension jusqu'à ce que câble de tête et câble de queue ne touchent jamais le sol. A une

augmentation de tension du câble tracteur correspond d'ailleurs une augmentation d'adhérence du câble sur les poulies de tête du plan.

En réalité, le système du câble tracteur, câble de queue et câble de tête, se réduit à un câble sans fin. Les chariots lui sont fixés à l'aide de petites *cravates* serrées par des boulons ; on peut les déplacer de manière à faire varier le point d'arrêt des chariots soit en haut, soit en bas ; on peut même, lorsque le terrain s'y prête, desservir plusieurs niveaux de départ par un seul plan : il suffit de déplacer convenablement l'un des chariots sur le câble sans fin.

D'après ce qui précède, l'appareil mobile d'un plan se réduit à quatre organes que j'examinerai successivement et qui sont :

a. Le câble sans fin ;
b. La poulie à frein du haut ;
c. La poulie de retour du bas ;
d. Les chariots ou vagonnets.

a. *Câble tracteur sans fin*. — Bien que la souplesse et la résistance soient les qualités qu'on demande au câble tracteur, il n'est pas bon cependant, dans des climats chauds et humides, d'adopter des fils de diamètre inférieur à 7 à 8 dixièmes de millimètre. L'acier doit être assez doux et on peut s'en tenir à la qualité résistant à 120 kilogrammes par millimètre carré. Le misage à 6 torons de 6 fils convient bien et les deux types de câbles tracteurs en usage à Kouaoua sont :

Câble de 6^{mm},3 de diamètre, composé de 36 fils n° 2, jauge de Paris ;
— de 8 ,1 — — n° 4 —

En acier résistant à 120 kilogrammes, la résistance totale du premier est de 1.660 kilogrammes, celle du second de 2.750 kilogrammes. Leur poids est respectivement de 130 grammes et de 214 grammes par mètre courant.

L'usure est pour les tracteurs beaucoup plus rapide que pour les câbles porteurs. Elle résulte non pas tant du fonctionnement que des accidents si difficiles à éviter dans les plans ordinaires ou dans les plans aériens. Il suffit de l'inattention de l'homme préposé au service du frein pour qu'un tamponnement en fin de course, correspondant à l'envoi aux molettes sur les puits, amène la rupture certaine du câble. D'un autre côté, le freinteur serre-t-il brusquement le frein pour éviter le tamponnement, la rupture n'aura peut-être pas lieu, mais la fatigue extrême imposée au câble amène une rapide usure. Dès qu'on doute de la solidité du câble de tête, on le remplace ; il peut alors être encore pendant longtemps employé comme câble de queue. Une rupture de celui-ci n'est pas un accident grave, une simple épissure le répare ; la rupture du câble de tête entraîne le bris des chariots, peut gravement endommager les câbles porteurs et met en danger la vie des hommes occupés à la tête et au pied du plan.

b. *Poulie à frein du haut* (*fig.* 10 à 14, Pl. XVIII, et *fig.* 8, Pl. XIX). — C'est également pour éviter de tels accidents qu'il convient d'apporter le plus grand soin dans l'établissement de la poulie du haut. Son frein doit parfaitement fonctionner ; il peut être à sabot si la pente est inférieure à 10 grades ; au-dessus de 10 grades, il faut un frein à ruban. Je n'insiste pas sur l'opportunité d'avoir des poulies de grand diamètre. Outre qu'elles diminuent la fatigue du câble tracteur et la tension d'incurvation, elles permettent au tracteur d'agir sur le chariot toujours dans le plan du câble porteur. On n'a pas ainsi de composante normale à ce plan dont l'effet est de culbuter le chariot vide très léger et

d'augmenter à la fois l'usure des poulies et l'usure des câbles porteurs.

Sur les câbles à pente faible, où la vitesse de marche des chariots ne dépasse pas 15 mètres, si le câble tracteur est assez tendu, son adhérence à la poulie est suffisante pour qu'il n'y ait pas à craindre de glissement lorsque le frein fait sentir son action retardatrice. La vitesse atteint-elle 25 mètres par seconde et le câble est-il peu tendu, des fouettements peuvent déterminer le glissement du tracteur dans la gorge, et il est bon d'employer une poulie à double gorge conjuguée avec une poulie à simple gorge. L'arc embrassé par le câble sur la poulie du frein est ainsi égal à un peu plus d'une circonférence.

Les plans aériens récemment installés à Kouaoua sur la mine Loire comportent tous une pareille disposition et peuvent ainsi marcher à grande vitesse. Les gorges des poulies sont garnies en cuir implanté par petits morceaux dans la gorge en queue-d'aronde. Le diamètre de la poulie à frein est de $1^{m},30$, celui de la poulie conjuguée de 1 mètre. Les poulies sont commandées, en France, avec axes, paliers graisseurs, crapaudines et frein; il ne reste plus qu'à les installer dans un solide châssis en chêne. Un point essentiel est de mettre sur les crapaudines et les paliers des couvercles aussi étanches que possible; on empêche ainsi l'accès des poussières fines que donne le minerai de nickel et qui usent rapidement les paliers.

J'ai signalé, à propos des câbles porteurs, la difficulté que présente l'amenée à pied d'œuvre d'un matériel lourd. S'il est possible de diviser le poids d'un câble presque à l'infini, une pièce de fonte est indivisible. Si son poids dépasse 200 à 250 kilogrammes, elle est difficilement transportable en montagnes. C'est ainsi qu'on rencontre en quelques points de l'Équateur, en Amérique, sur le rivage de la mer ou bien aux points où finissent les routes carrossables, des moulins entiers commandés pour le traitement des minerais aurifères dans l'intérieur. Le poids de certaines pièces les immobilise là, et peut-être que d'espérances déçues ils représentent! Au delà de 120 kilogrammes, il faut renoncer au transport à dos de cheval pour adopter le portage à dos d'hommes ou bien le traînage : ce sont là des conditions économiques déplorables. Une poulie à simple gorge de 1 mètre de diamètre pèse 120 à 130 kilogrammes et on l'amène facilement à la tête d'un plan quel que soit le chemin pour y accéder. Une poulie à deux gorges et à frein de $1^{m},30$ pèse 350 à 400 kilogrammes et il est bon de la commander en deux pièces. Il n'est pas besoin d'établir de projets spéciaux pour ces poulies de plans; celles employées pour les câbles télédynamiques conviennent parfaitement.

Une poulie à frein constitue donc toute la machine du haut du plan. Point de galets ni de petites poulies de renvoi; l'inclinaison de la poulie est la moyenne entre l'inclinaison maxima et l'inclinaison minima du câble tracteur en haut du plan. De cette manière il y a peu ou point de frottement dans la gorge de la poulie. Il faut se garder d'établir la poulie horizontale comme on l'a fait quelquefois et à tort dans certaines installations de plans inclinés; les galets, dont l'usage est alors imposé, usent très rapidement le câble tracteur.

On a essayé à Kouaoua des freins normalement serrés par un contrepoids. Quelques accidents ont été ainsi évités, mais il est à peu près impossible d'empêcher le freinteur de paralyser l'action du contrepoids. Une cheville habilement placée retient le frein desserré et par ce moyen le freinteur se dispense d'un peu de peine pour maintenir le contrepoids soulevé. L'appareil ainsi modifié devient extrêmement dangereux.

c. *Poulie du bas* (*fig.* 9, Pl. XIX). — La poulie du bas est un organe qu'on ne rencontre pas dans les plans ordinaires. Elle a pour but d'assurer la tension du câble tracteur. C'est une poulie à simple gorge de 1 mètre de diamètre. Établie immédiatement derrière les poteaux d'amarrage des câbles porteurs, elle est fixée dans un bâti maintenu seulement par deux poteaux enfoncés en terre et consolidés à l'aide d'étais. On détermine expérimentalement l'inclinaison qu'il convient de lui donner; c'est la moyenne entre l'angle maximum et l'angle minimum du câble tracteur en bas avec l'horizontale. Pas plus que pour la poulie du haut il n'est besoin de galets pour assurer le guidage du câble tracteur; celui-ci a une tension suffisante pour que les déraillements ne soient pas à craindre.

d. *Chariots* (*fig.* 15 et 16, Pl. XVIII). — On voit qu'une installation de câble tracteur est identique à celle d'une transmission télédynamique. Les vitesses sont comparables; cependant dans les plans aériens celles-ci ne sont pas supérieures à 25 mètres par seconde. La simplicité des chariots est trop grande pour que cette vitesse puisse être notablement dépassée. Les poulies de chariots, montées simplement sur un axe en fer autour duquel elles tournent, ne portent pas de godet graisseur; elles sont en fonte, à quatre bras, et leur diamètre de roulement est de 22 centimètres. Leur usure est assez rapide, mais il vaut mieux se résoudre à les changer plus souvent qu'à adopter des graisseurs qui créeraient une complication dans la construction des chariots.

Le chariot proprement dit se réduit à une pièce de fer plat de $0^m,80$ de long, munie de deux fourches portant les poulies et entre lesquelles se trouve le câble porteur. Le plateau destiné à recevoir les sacs lui est accroché à l'aide de quatre petites chaînes. Ce plateau est simplement une petite échelle en bois brut de $1^m,20$ de long sur $0^m,60$ de large. L'ensemble du chariot est excessivement léger; le poids n'atteint pas 15 kilogrammes, y compris les poulies. Le poids utile transporté est en moyenne de 250 kilogrammes; le poids mort est donc seulement de 6 p. 100 de la charge utile. Sur certains plans où le poids transporté est de 350 kilogrammes, le poids mort est inférieur à 5 p. 100 de la charge utile.

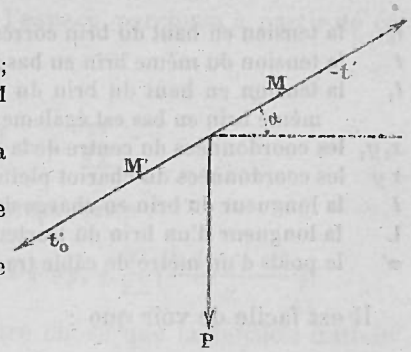
III. — Équilibre de l'appareil mobile.

Il est intéressant d'étudier l'équilibre de l'appareil mobile pour se rendre compte de l'action du frein sur le système en mouvement et déterminer les tensions auxquelles est soumis le câble tracteur.

1° *Tension du tracteur en fonction de la charge en mouvement.* — Je considère un élément infiniment petit MM′ de la trajectoire du centre de gravité de la charge. J'assimile cet élément à une portion de plan incliné.

Soit :

α l'inclinaison de ce plan;
P le poids de la charge, M sa masse;
p le poids mort, m sa masse;
t' la tension du câble de tête en M;
t'_0 la tension du câble de queue en M′;
v la vitesse du chariot.



La réaction du câble porteur est normale à MM′.

Quand le câble tracteur est suffisamment tendu, les tensions t' et t'_0 font avec MM′ de très petits angles; ces

tensions se projettent donc en vraie grandeur sur la direction MM'.

Les forces qui agissent sur le chariot sont :

La réaction du câble porteur;
Le poids $P + p$;
La tension $-t'$ du câble de tête;
La tension t'_0 du câble de queue;
L'inertie $(M + m)\frac{dv}{dt}$.

Je projette sur la direction MM' et j'obtiens la relation d'équilibre

$$t'_0 - t' + (P + p)\sin\alpha - (M + m)\frac{dv}{dt} = 0,$$

ou bien

$$(1) \qquad t' - t'_0 = (P + p)\sin\alpha - (M + m)\frac{dv}{dt}.$$

Je considère le plan vertical passant par le centre des poulies du haut et du bas du plan et je prends comme axes de coordonnées l'horizontale et la verticale passant par le centre de la poulie du haut.

Soit :

t_0 la tension en haut du brin correspondant au chariot plein;
t la tension du même brin en bas;
t_1 la tension en haut du brin du chariot vide; la tension du même brin en bas est également t;
$x_1 y_1$ les coordonnées du centre de la poulie du bas;
$x\,y$ les coordonnées du chariot plein;
l la longueur du brin en charge du câble de tête;
L la longueur d'un brin du tracteur du haut en bas du plan;
ϖ' le poids d'un mètre de câble tracteur.

Il est facile de voir que :

$$t_0 = t' + \varpi' y - \frac{\varpi' l}{g}\frac{dv}{dt},$$

$$t'_0 = t + \varpi'(y_1 - y) - \frac{\varpi'}{g}(L - l)\frac{dv}{dt};$$

on déduit de là :

$$(2) \qquad t' - t'_0 = t_0 - t - \varpi' y_1 + \frac{\varpi' L}{g}\frac{dv}{dt}.$$

En portant cette valeur dans la relation (1), on obtient :

$$(3) \quad t_0 - t = (P + p)\sin\alpha - (M + m)\frac{dv}{dt} + \varpi' y_1 - \frac{\varpi' L}{g}\frac{dv}{dt},$$

relation qui donne la tension du câble tracteur en haut du plan.

Il est à remarquer que l'angle α n'est pas constant; il varie d'un bout à l'autre du plan, mais il a sa valeur maxima lorsque le chariot est en haut du plan.

Au départ, $\frac{dv}{dt}$ est d'abord positif; la vitesse s'accroît en effet peu à peu, puis elle reste constante et décroît rapidement lorsque le frein agit sur la poulie du haut, alors $\frac{dv}{dt}$ est négatif.

Je suppose, ce qui est vrai très approximativement, que l'action du frein donne lieu à un mouvement uniformément retardé. Soit V la vitesse au moment où le frein commence à agir, et Σ l'espace parcouru à partir de ce moment jusqu'à l'arrêt.

On sait que

$$(4) \qquad \frac{dv}{dt} = -\frac{V^2}{2\Sigma}.$$

La relation (3) peut alors s'écrire :

$$(5) \quad t_0 = t + (P + p)\sin\alpha + \varpi y_1 + \frac{V^2}{2\Sigma}\left(\frac{P + p + \varpi L}{g}\right);$$

t n'est d'ailleurs pas autre chose que la tension initiale en bas donnée au tracteur sans fin lors de sa mise en place.

Si l'on pose

$$P + p + \varpi L = \Pi,$$

on a très approximativement

$$t_0 = t + \Pi \sin\alpha + \frac{\Pi}{2g}\frac{V^2}{\Sigma}. \tag{6}$$

On se rend facilement compte que le terme $\frac{\pi}{2g}\frac{V^2}{\Sigma}$ peut devenir de beaucoup le plus important.

Si l'on désigne par θ_0 l'angle de départ du câble porteur en haut du plan, α est toujours plus petit que θ_0, on a donc :

$$\max t_0 < t + \Pi \sin\theta_0 + \frac{\Pi}{2g}\frac{V^2}{\Sigma}. \tag{7}$$

Cette relation donne le travail maximum auquel est soumis le câble tracteur.

2° *Adhérence du câble sur la poulie à frein.* — Si l'on considère le brin du tracteur correspondant au chariot vide, on obtient une formule semblable à la relation (3). Soit α' l'angle pour le chariot vide correspondant à l'angle α pour le chariot plein. On a :

$$t_1 - t = p\sin\alpha' + \varpi' y_1 + m\frac{dv}{dt} + \frac{\varpi' L}{g}\frac{dv}{dt}. \tag{8}$$

Je retranche cette équation de l'équation (3) :

$$t_0 - t_1 = P\sin\alpha + p(\sin\alpha - \sin\alpha') - \frac{dv}{dt}\left(M + 2m + \frac{2\varpi' L}{g}\right),$$

p est très petit et le terme $p(\sin\alpha - \sin\alpha')$ est négligeable. On peut donc écrire :

$$t_0 - t_1 = P\sin\alpha - \frac{dv}{dt}\frac{2\Pi - P}{g}, \tag{9}$$

relation qui donne la différence de tension des deux brins du tracteur en haut du plan.

Soit :

β l'arc embrassé par le câble tracteur sur la poulie à frein ;
f le coefficient d'adhérence du câble dans sa gorge.

Au moment où le glissement du câble tend à se produire, on a :

$$t_0 = t_1 e^{f\beta}.$$

Il n'y aura pas de tendance au glissement si la tension t_0 satisfait constamment à l'inégalité

$$t_0 < t_1 e^{f\beta}. \tag{10}$$

Je remplace t_0 par sa valeur tirée de l'équation (9)

$$t_1 + P\sin\alpha - \frac{dv}{dt}\frac{2\Pi - P}{g} < t_1 e^{f\beta},$$

d'où je déduis :

$$-\frac{dv}{dt}\frac{2\Pi - P}{g} < t_1(e^{f\beta} - 1) - P\sin\alpha. \tag{11}$$

La relation (8) donne t_0 en fonction de t, tension initiale du câble tracteur. J'effectue la substitution et j'ai successivement :

$$-\frac{dv}{dt}\frac{2\Pi - P}{g} < \left(t + p\sin\alpha' + \varpi' y_1 + \frac{p + \varpi' L}{g}\frac{dv}{dt}\right)(e^{f\beta} - 1) - P\sin\alpha.$$

Je pose $e^{f\beta} - 1 = A$

$$-\frac{dv}{dt}\left(\frac{2\Pi - P}{g} - A\frac{p + \varpi' L}{g}\right) < (t + p\sin\alpha' + \varpi' y_1)A - P\sin\alpha.$$

La valeur de p est très faible comparée à t, je puis donc négliger $p\sin\alpha'$ devant $t + \varpi' y$; j'obtiens :

$$-\frac{dv}{dt} < g\frac{A(t + \varpi' y_1) - P\sin\alpha}{2\Pi - P - A(p + \varpi' L)}.$$

Mais α est toujours $< \theta_0$; l'inégalité précédente sera donc satisfaite si l'on a :

$$\frac{dv}{dt} < g\frac{A(t + \varpi' y_1) - P\sin\theta_0}{2\Pi - P - A(p + \varpi' L)}. \tag{12}$$

On est sûr que si l'accélération satisfait à cette inéga-

lité, il n'y a pas tendance au glissement lors du serrage du frein.

En vertu de l'équation (4), on peut substituer à cette inégalité (12) la suivante :

$$(13) \qquad \frac{V^2}{\Sigma} < 2g\,\frac{A(t+\varpi' y_1) - P\sin\theta_0}{2\Pi - P - A(p+\varpi' L)}.$$

3° *Action produite par le serrage du frein.* — Je désigne par :

F la pression du sabot du frein;
f' le coefficient de frottement du sabot sur la jante;
R le rayon de la poulie;
P′ son poids;
$\frac{P'}{g}\frac{r^2}{R^2}v^2$ sa force vive.

Le diamètre de la jante du frein étant égal au diamètre d'enroulement du câble tracteur, le principe des forces vives donne :

$$(14) \qquad t_0 - t_1 - Ff' + 2\,\frac{P'}{g}\,\frac{r^2}{R^2}\,\frac{dv}{dt} = 0,$$

ou bien en vertu de l'équation (9) :

$$(15) \qquad -\frac{dv}{dt} = g\,\frac{Ff' - P\sin\alpha}{2\Pi - P - 2P'\,\frac{r^2}{R^2}}.$$

Telle est la valeur de l'accélération en fonction de la pression exercée par le frein.

On déduirait de là

$$(16) \qquad \frac{V^2}{\Sigma} = 2g\,\frac{Ff' - P\sin\alpha}{2\Pi - P - 2P'\,\frac{r^2}{R^2}},$$

c'est-à-dire que la pression F arrête le chariot dans l'espace Σ lorsque ce chariot est lancé à la vitesse V.

Dans la pratique, on prend pour l'angle α l'inclinaison

de la corde de la chaînette qui sous-tend la portion du câble porteur parcourue entre le moment où le frein commence à agir et l'arrêt complet.

Les formules précédentes suffisent à résoudre tous les problèmes relatifs à l'appareil mobile d'un plan incliné aérien. On adopte pour A et f' les valeurs données ci-après :

$$f' = 0{,}20.$$

Pour A il faut distinguer plusieurs cas :

1° Poulie en fonte à gorge non revêtue :

Une seule poulie . . . . . — 0,15
Deux poulies conjuguées . . . . . + 2.00

2° Poulie en fonte à gorge en cuir :

Une seule poulie . . . . . + 2,50
Deux poulies conjuguées . . . . . + 11,00

4° *Application.* — J'examinerai, à titre d'exemple, les conditions d'établissement du plan aérien n° 1 de la mine *Dorée*, à Kouaoua.

On a :

$x_1 = 701^m$, $\quad \theta_0 = 18^{gr},50$,
$y_1 = 161\ ,50$, $\quad L = 718^m,50$.

Le câble tracteur a 6 millimètres de diamètre, sa tension initiale est de 260 kilogrammes. Le poids par mètre courant est de $0^{kg},130$. La charge utile est de 250 kilogrammes.

La tension maxima du câble donnée par la relation (7) est :

$$\max t_0 \leq 331 - 358\,\frac{1}{g}\,\frac{dv}{dt},$$

ou bien :

$$\max t_0 \leq 331 + 18{,}20\,\frac{V^2}{\Sigma}.$$

Si l'on arrête au bout de 25 mètres le chariot marchant à la vitesse de 25 mètres par seconde, on a :

$$t_0 < 780^{kg}.$$

Le plan possède en haut deux poulies conjuguées, en fonte, à gorges non garnies de cuir. Dans ces conditions, la relation (12) donne pour le maximum de $\left(-\frac{dv}{dt}\right)$,

$$\max\left(-\frac{dv}{dt}\right) < g \times 4{,}7.$$

Par suite de la relation (7) il n'y aura pas de glissement du câble dans la gorge tant que l'on aura :

$$t_0 < 2.013^{kg}.$$

La résistance totale du câble est d'environ 1.700 kilogrammes ; les glissements sur la poulie ne sont donc pas à craindre ; mais lorsque le chariot est lancé à 25 mètres par seconde, si on l'arrête dans un espace de 25 mètres, on fait travailler le câble à 2/5 environ de sa résistance totale.

IV. — Plans aériens non automoteurs.

Balances de déblais. — Les plans aériens précédemment examinés sont des plans automoteurs ; on comprend qu'on puisse les modifier à la manière des plans ordinaires pour en faire soit des plans à balance d'eau, soit des plans à balance de déblais. A Kouaoua fonctionnent plusieurs plans pour la remontée des minerais ; ils sont actionnés par les déblais des carrières qu'on charge dans des caisses spéciales, en fer, placées un peu au-dessus du chariot qui reçoit les sacs. Le plan est encore à double effet ; le déblai est chargé à la tête du plan, les bennes se vident automatiquement à leur arrivée en bas.

Dans une autre disposition, les deux câbles porteurs, au lieu d'être placés parallèlement à côté l'un de l'autre, sont dans le prolongement l'un de l'autre. Sur le câble supérieur se meut le chariot à minerai, sur le câble inférieur circule la benne à déblais. Le plan est à simple effet et le chariot à minerai est lesté de manière à pouvoir remonter par son poids la caisse à déblai vide. Là le déblai est chargé au pied du plan.

Plans à un seul câble porteur. — On rencontre enfin à Kouaoua un plan automoteur d'une espèce particulière. Il est long de 600 mètres, et sa pente, de trois grades, était trop faible pour permettre aux chariots pleins d'arriver jusqu'en bas du plan. Comme il s'agissait d'un plan à faible trafic (150 tonnes par mois), on ne pouvait faire de coûteuses installations.

La résistance passive due à la remontée du chariot vide est supprimée ; le plan ne comprend qu'un seul câble porteur et un câble tracteur sans fin.

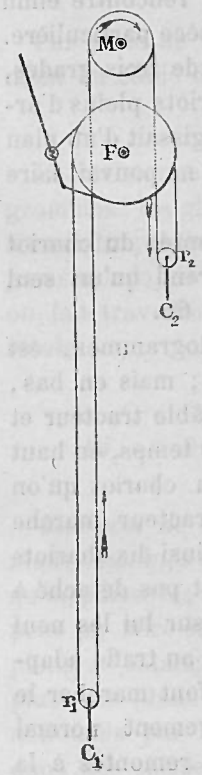
Le chariot plein, chargé de 400 kilogrammes, est expédié comme dans un plan ordinaire ; mais en bas, après déchargement, on le détache du câble tracteur et on le retire du câble porteur. Pendant ce temps, en haut on accroche et on charge un nouveau chariot qu'on expédie comme le premier. Le câble tracteur marche toujours dans le même sens. On expédie ainsi dix chariots les uns après les autres. Le dixième n'est pas détaché à son arrivée au pied du plan ; on charge sur lui les neuf autres chariots, et les hommes employés au trafic adaptant une manivelle à la poulie du plan font marcher le tracteur en sens inverse de son mouvement normal jusqu'à ce que les chariots vides soient remontés à la tête du plan.

Bien que la remontée des chariots vides soit assez longue, cette installation, extrêmement peu coûteuse,

puisqu'elle ne comprend qu'un seul câble porteur, suffit à la descente de 20 tonnes de minerai par journée de travail de huit heures.

Plans bisautomoteurs. — M. Biver, ingénieur à la Société d'Exploitation, a installé aux mines de Nakéty un système de plans bisautomoteurs dont l'idée est très ingénieuse.

On a vu que le câble tracteur d'un plan aérien était formé d'un câble sans fin passant en bas du plan sur une poulie de retour. Si l'on transporte la poulie de retour à la tête du plan, chaque brin du tracteur forme alors une boucle; on passe chacune de ces boucles sur une poulie fixée à chacun des chariots. Je désigne par M la poulie de tête du plan, par F la poulie de retour transportée en haut du plan, par r_1 et r_2 les poulies fixées sur les chariots C_1 et C_2. Je suppose le chariot C_1 plein en bas du plan.



Si l'on fait tourner la poulie M, ou poulie motrice, le câble sans fin fera tourner les poulies F, r_1 et r_2, mais sans imprimer de mouvement de translation aux poulies r_1, r_2. Vient-on à immobiliser la poulie F à l'aide d'un frein à ruban, on rend fixe en ce point le câble sans fin, chacune des poulies r_1 et r_2 devient une moufle à une poulie et la rotation de la poulie M a pour effet de faire monter la poulie r_1 et son chariot plein, tandis que la poulie r_2 descend avec le chariot vide.

Pour arrêter le mouvement des chariots, il suffit de desserrer convenablement le frein de la poulie F. Le mouvement des chariots est donc réglé, non par la poulie motrice, mais par la poulie de retour à frein, et il est à remarquer que l'*arrêt s'obtient par le desserrage du frein.*

Si l'on monte la poulie M sur l'axe de la poulie de tête d'un plan automoteur, le travail disponible sur ce plan sera ainsi utilisé pour la remontée des charges sur le premier plan. L'ensemble constitue un système bisautomoteur dont les liaisons sont établies de telle sorte que le plan servant à la montée des minerais peut être arrêté d'une manière absolument indépendante du plan automoteur.

Les équations d'équilibre du système sont faciles à établir.

Soit :

R le rayon de la poulie de tête du plan automoteur;
P la charge du chariot;
α l'angle d'inclinaison sur l'horizon du plan de roulement du chariot plein à un moment donné;
L la longueur du plan;
R', A', α', L' les éléments correspondants du plan non automoteur.

Je considère un angle de rotation $d\theta$ de la poulie motrice. Si l'on néglige les résistances passives, on voit immédiatement que le mouvement aura lieu si le travail moteur

$$PR \sin \alpha d\theta$$

est plus grand que le travail résistant

$$\frac{R'P' \sin \alpha' d\theta}{2},$$

d'où l'on a

$$RP \sin \alpha > \frac{R'P' \sin \alpha'}{2}.$$

La charge remontée est égale à la charge descendue, on a donc :

$$R \sin \alpha > \frac{R' \sin \alpha'}{2},$$

et cela en chaque point des plans.

Soit :

0 l'angle d'arrivée des câbles porteurs au pied du plan automoteur;

$0'_0$ l'angle de départ des câbles porteurs du plan non automoteur.

La condition précédente sera satisfaite si l'on a :

$$(1) \qquad R \sin 0 > \frac{R' \sin 0'_0}{2}.$$

De plus, à chaque course du plan automoteur doit correspondre au moins une course du plan non automoteur.

Soit n le nombre de tours de la poulie motrice quand le plan automoteur fait une course entière; on a

$$2\pi R n = L,$$

et l'on doit avoir

$$2\pi R' n > L',$$

d'où :

$$(2) \qquad \frac{R'}{R} > \frac{L'}{L}$$

Les conditions (1) et (2) sont suffisantes pour que le bon fonctionnement du système soit assuré au point de vue théorique.

Ces conditions peuvent se résumer dans la double inégalité suivante :

$$\frac{2 \sin 0}{\sin 0'_0} > \frac{R'}{R} > \frac{L'}{L}.$$

On les réalisera en donnant à R' une dimension convenable. On ne peut d'ailleurs satisfaire à ces inégalités

que si les données du problème satisfont elles-mêmes à la condition

$$2L \sin 0 > L' \sin 0'_0.$$

Un pareil plan bisautomoteur fonctionne aux mines de Nakéty dans des conditions très satisfaisantes. Les minerais rassemblés à la cote 160 mètres sont d'abord remontés à la cote 200 mètres; ils descendent ensuite au bord de mer à la cote zéro. La capacité du trafic est de 50 tonnes par journée de 9 heures (*fig.* 17, Pl. XVIII).

V. — Étude d'un projet de plans aériens.

Établir un projet de plans aériens serait chose simple en France, où l'on dispose de cartes précises à grande échelle. En Nouvelle-Calédonie, les seuls repères sûrs sont les points trigonométriques, et ils sont insuffisants pour permettre d'étudier même un avant-projet sur les photographies au prussiate que délivre le service topographique. L'ingénieur doit se rendre compte lui-même sur le terrain du relief et des accidents du sol; il trace un croquis approximatif et détermine l'altitude et la position des points principaux à l'aide du baromètre et de la boussole. Ce travail est déjà suffisant pour qu'on puisse indiquer à peu près les tracés possibles. Il faut prévoir l'exploitation de certaines régions où les prospections ont signalé le minerai, ménager des points d'affluence pour les plans qui seront appelés plus tard à desservir ces régions. On choisit le point d'arrivée dans la plaine avec le plus grand soin, un raccordement de voie ferrée doit venir au pied même des câbles; en haut, les carrières doivent pouvoir envoyer leurs minerais à la tête des plans avec le moins de main-d'œuvre possible. S'il y a des camps de mineurs, on prévoit le ravitaillement de

ces camps qu'on met en communication facile avec les plans.

L'avant-projet donne donc un certain nombre de points obligés ou possibles pour les sommets et les pieds des plans. L'étude du projet définitif nécessite un levé exact de tous ces points; on l'effectue au tachéomètre et, en même temps, on détermine quelques courbes de niveau au voisinage des points relevés. Ces données sont suffisantes pour établir un ou plusieurs projets; toutes choses égales d'ailleurs, le meilleur est celui qui, avec le moins de relais, donne des longueurs de plans peu différentes les unes des autres. S'il y a peu de relais, le nombre des hommes nécessaires au trafic est peu considérable, si les plans ont des longueurs peu différentes, ils ont des capacités de trafic à peu près égales, et un plan trop long ne retarde pas le trafic sur toute la ligne des plans successifs.

La détermination des longueurs et des pentes montre déjà si le projet adopté est réalisable avec le matériel dont on dispose. On complète l'étude du projet par le tracé approximatif du profil en long du terrain sous chaque plan. Si quelques points de ce profil semblent devoir être proches des câbles mis en place, on les relève exactement au tachéomètre et on détermine là également quelques profils en travers.

Pour ces diverses opérations, il est bon d'avoir fait tracer des sentiers facilement praticables; on évite ainsi de grosses pertes de temps.

Le choix du tracé de l'ensemble des plans nécessite donc toute une série d'opérations qui sont, par ordre :

1° Examen de la région au baromètre et à la boussole, détermination des points obligés et des points possibles;

2° Levé de ces points au tachéomètre et tracé des courbes de niveau dans leur voisinage;

3° Calcul des longueurs et des pentes des plans possibles;

4° Profil en long du terrain suivant l'axe des plans, et profils en travers aux points où les plans peuvent être gênés par le relief du sol.

Il reste à étudier chaque plan en particulier et à déterminer dans quelles conditions il sera établi.

Contrairement à ce qui a lieu pour les plans inclinés ordinaires, un plan aérien n'est pas défini par sa longueur et la pente de la ligne droite qui rejoint ses extrémités. On dispose d'un *paramètre arbitraire* qui est la tension initiale des câbles porteurs.

Ce paramètre ne peut varier qu'entre certaines limites qu'il convient d'examiner pour chaque plan.

Une limite est fixée par le travail maximum qu'il convient de ne pas dépasser pour les fils des câbles porteurs; la seconde est donnée par les conditions de bon fonctionnement du plan. Avec une tension trop faible des câbles porteurs, il peut arriver que le chariot plein n'arrive pas seul au pied du plan, qui n'est plus ainsi automoteur, ou bien, ce qui est plus grave, certains obstacles peuvent s'opposer au passage des chariots. On a bien la ressource, aux points trop saillants du profil en long, de relever le câble avec des supports, mais c'est là une disposition vicieuse. Souvent il faut faire des tranchées qu'il est difficile à l'œil de prévoir, quelque habitude que l'on ait de l'installation des plans aériens.

On se trouve ainsi amené à effectuer sur les câbles porteurs une série de calculs qui ont pour but de déterminer entre autres la tension maxima à laquelle est soumis le câble et certains points de la trajectoire de la charge mobile. Les calculs exacts peuvent être faits à l'aide de tables ou d'abaques.

Soit :

T_c la tension en haut;

ϖ le poids du mètre de câble;
θ_0 l'angle de départ du câble;
θ_1 l'angle d'arrivée;
x_1 la longueur horizontale du plan;
y_1 sa hauteur verticale;
S_1 la longueur du câble;
M le module pour convertir les logarithmes népériens en logarithmes vulgaires;
$\mathfrak{C}_0$ le quotient $\frac{T_0}{\varpi}$.

Les tables et abaques sont établis d'après les formules exactes :

$$x_1 = \mathfrak{C}_0 \cos\theta_0 M\left[\log \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\theta_0}{2}\right) - \log \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\theta}{2}\right)\right] = \mathfrak{C}_0 X,$$

$$y_1 = \mathfrak{C}_0 \cos\theta_0\left(\frac{1}{\cos\theta_0} - \frac{1}{\cos\theta}\right) = \mathfrak{C}_0 Y,$$

$$S_1 = \mathfrak{C}_0 \cos\theta_0 (\operatorname{tg}\theta_0 - \operatorname{tg}\theta) = \mathfrak{C}_0 S.$$

Ces tables donnent les valeurs de X, Y et S correspondant à des valeurs déterminées de θ_0 et de θ_1, et réciproquement.

Quand on se donne l'angle θ_0, que nous choisirons comme paramètre arbitraire d'un plan, on peut, pour des valeurs de θ_0 et θ_1 inférieures à 30 grades, substituer aux formules transcendantes exactes les formules algébriques approchées ci-après :

$$x_1 = \mathfrak{C}_0 \cos\theta_0 (\theta_0 - \theta_1),$$
$$y_1 = \mathfrak{C}_0 \cos\theta_0 (\theta_0 - \theta_1)(\theta_0 + \theta_1),$$

qui permettent de résoudre les problèmes relatifs au câble non en charge d'une manière suffisamment approchée.

Pour le calcul de la tension d'un câble en charge, on peut employer les formules approximatives données par M. Gros dans la *Note sur les câbles transporteurs aériens* (*Annales des ponts et chaussées*, n° 64, novembre 1887.)

En réalité, ces calculs ne sont utiles que pour des

plans à longue portée et à pente faible, pour lesquels une forte tension initiale est imposée par le profil en long du sol ou par la nécessité de rendre le plan automoteur. Approximativement, la tension maxima en haut du plan est proportionnelle à la longueur horizontale du plan et au poids du câble, et inversement proportionnelle au cosinus de l'angle d'inclinaison en haut et à la différence entre l'angle de départ et l'angle d'arrivée.

Au plan n° 1 de la *Dorée*, à Kouaoua, où l'angle de départ des câbles est de 18^g,50 et l'angle d'arrivée de 9^g,25, les câbles porteurs de 20 millimètres sont soumis à vide à une tension de 7 tonnes environ. La tension n'atteint pas 10 tonnes quand la charge roulante est de 250 kilogrammes.

Plans aériens de Kouaoua. — Les plans aériens de Kouaoua (*fig.* 1 à 7, Pl. XIX) ont été établis d'après les considérations précédemment exposées. Ils desservent trois groupes de mines ou plutôt trois groupes de chantiers à ciel ouvert formant des ouvrages à gradins où la hauteur des gradins varie de 6 à 12 mètres.

L'ensemble du trafic forme deux séries de plans étagés désignés sous les noms de *plans de la Dorée* et de *plans de la Loire*.

Les *plans de la Dorée* se succèdent directement sans interposition de voies ferrées horizontales. Les minerais sont amenés à la tête du plan n° 1 par une voie horizontale qui dessert les différents chantiers du niveau de 400 mètres. Le plan inférieur, ou plan n° 3, aboutit à une voie ferrée horizontale de 6 kilomètres conduisant les minerais au bord de la mer. La longueur des trois plans est supérieure à 1.560 mètres, la hauteur de chute est supérieure à 400 mètres.

Pour le plan n° 1, il a fallu ouvrir, presque en son milieu, sur une ligne de crête trop saillante, une tranchée

de 20 mètres de long et de 4 mètres de profondeur. De même, le plan n° 2 a nécessité une tranchée à son point d'arrivée.

Le plan n° 3 dessert un camp de 200 hommes. De plus, il reçoit à sa partie supérieure une série de plans affluents qui recueillent les minerais produits aux niveaux de 320 et de 351 mètres. Ces plans portent les noms de *plan du Nord* et de *plan de la pointe Maggi*.

La voie ferrée du niveau de 404 mètres reçoit un plan affluent de 600 mètres qui dessert les chantiers et le camp dits du Béarn à l'altitude de 427 mètres. Les chantiers de la *Dorée* envoient leurs minerais au niveau de 404 mètres soit à l'aide de câbles uniques ou de glissières, soit à l'aide de balances de déblais. C'est encore à ce niveau qu'aboutit une balance de déblais de 350 mètres, dite *plan de la Forêt*, destinée à remonter l'eau et le bois sur les chantiers.

Les *plans de la Loire* sont au nombre de deux : le plan n° 1 part directement des chantiers, le plan n° 2 aboutit sur la voie ferrée de la plaine. Les minerais sont concentrés à la tête du plan n° 1 à l'aide d'un *couloir* qui recueille les minerais des six étages en exploitation. Le plan n° 2 a nécessité un peu avant son point d'arrivée une tranchée de 30 mètres de long sur $3^{m},50$ de haut.

VI. — Mise en place des cables.

D'après ce qui a été dit au commencement de cette note sur les montagnes de la Nouvelle-Calédonie, on peut prévoir que la mise en place des câbles porteurs est une opération longue et difficile. Il s'agit de passer par-dessus des forêts à peu près impénétrables où la chute des câbles serait un accident grave et entraînant de nombreux jours de retard dans l'établissement des plans. J'ai, une

fois, assisté à un accident de cette sorte sur une petite mine exploitée par un particulier ; il fallut ouvrir dans la forêt une longue tranchée et, avec 40 hommes, le câble ne put être dégagé qu'au bout de dix jours de travail.

La formation des *coques* est toujours à redouter dans la mise en œuvre de câbles à fils résistants ; ces câbles ont une tendance à se détordre et il en résulte des boucles dont le serrage engendre une coque qu'on ne peut redresser. Le seul remède est de couper le câble en ce point et d'y faire une épissure. Par suite de leur tendance à se mettre en 8, les glènes sont d'un maniement dangereux et les hommes doivent éviter avec grand soin de se faire prendre par une d'elles.

On évitait autrefois la difficulté de mise en place des câbles en n'établissant les plans qu'au-dessus de régions assez facilement accessibles. On ouvrait une tranchée dans les arbres et on disposait le câble à terre au-dessous de la position qu'il devait occuper dans l'espace. Cette solution a été abandonnée à Kouaoua, sauf pour certains plans établis en terrain facile ; pour tous les grands plans, on procède au lancement des câbles méthodiquement et sûrement quelles que soient les difficultés présentées par le profil en long. On n'a même pas besoin de parcourir ce profil. Le principe de la méthode est simple ; on lance un câble de petit diamètre, ce qui est facile, et ce câble auxiliaire sert de guide et de support au câble plus gros qu'il s'agit de mettre en place. Pour un plan à câbles porteurs de 20 millimètres et à câble tracteur de 6 millimètres, on a donc successivement à lancer : le câble tracteur, le câble auxiliaire, les câbles porteurs.

1° *Lancement du câble tracteur.* — Mettre en place un câble de 6 millimètres, pesant 130 grammes par mètre est une opération relativement facile. Le câble, allongé sur le sentier ou sur la ligne de crête la plus voisine du

plan, est successivement lancé de crête en crête par-dessus les ravins ; il suffit de retenir le câble aux points les plus saillants à l'aide d'une corde fixée à un arbre par un bout et tenue à l'autre bout par un ou deux hommes. On dirige le câble par-dessus les arbres en lâchant successivement les cordes. On lance de même le second brin du tracteur qu'on établit définitivement sur ses poulies.

2° *Lancement du câble auxiliaire.* — Ce câble, de 10 millimètres, est fixé par un bout à un brin du câble tracteur, on le fait s'avancer peu à peu en halant sur l'autre brin et, tous les 50 mètres, on le suspend au tracteur à l'aide d'un fil à voile. Quand le câble auxiliaire est en place, on coupe facilement ces brins de fil en faisant mouvoir le câble tracteur à la manière d'une scie ; on dispose alors d'un câble porteur suffisamment solide pour pouvoir lancer un câble de 20 millimètres dont le poids est de 1^{kg},250 par mètre.

3° *Mise en place du câble porteur.* — On attache son extrémité à un chariot établi sur le câble auxiliaire et on hale sur le chariot à l'aide d'un nouveau câble de 6 millimètres sur lequel on agit avec un treuil à l'autre bout du plan. On règle facilement la tension du gros câble de telle sorte qu'il ne s'engage pas dans les branches et le lancement se fait ainsi sans qu'il y ait aucun accident à craindre avec quelques hommes habitués à ce genre de travail.

Pour donner au câble sa tension définitive, on le pince dans des cravates formées de deux fortes pièces de fer plat longues de 2 mètres et fortement serrées par un grand nombre de boulons. On agit alors sur ces cravates à l'aide de treuils et de palans.

Généralement, on tend les câbles par le bas du plan ; quand on ne dispose là que d'un espace trop étroit, on

peut tendre par le haut. Cette solution, appliquée au plan n° 2 de la *Dorée* à Kouaoua, ne peut d'ailleurs être mise en usage que sur des plans à faible portée.

VII. — Exploitation des plans aériens.

1° *Main-d'œuvre.* — Le service des plans est fait à Kouaoua par des Tonkinois et des Canaques Néo Hébridais ; les freinteurs sont choisis parmi les plus intelligents.

L'équipe d'un plan comprend cinq hommes, savoir :

En haut. . .	1 freinteur ;
	2 hommes à la charge ;
En bas. . . .	2 hommes pour décharger les chariots et dégager le pied du plan.

Les plans sont en général placés immédiatement à la suite l'un de l'autre ; les hommes du bas du plan supérieur passent directement les sacs aux hommes du haut du plan inférieur.

La charge utile est de cinq sacs ou 250 kilogrammes par voyage. Le temps de la charge est très faible ; avec le personnel ordinaire il ne s'écoule pas plus de 15 secondes entre l'arrivée du chariot vide et le départ du chariot plein. Pendant la marche du plan, les hommes approchent les sacs et les disposent en piles de 5, à proximité des chariots. Chaque sac est donc ainsi repris deux fois par les mêmes hommes à la tête d'un plan. Le trafic normal étant de 60 tonnes par journée de travail, ces deux hommes manœuvrent 120 tonnes dans une journée. Les Canaques et les Tonkinois arrivent facilement à ce rendement au bout de deux ou trois mois d'entraînement. La durée du travail est de 8 heures par journée.

2° *Capacité de trafic d'un système de plans.* — La ca-

pacité de trafic d'un système de plans est déterminée par le plan le plus long.

Un plan de 750 mètres de long et de 14 grades de pente donne les résultats suivants :

Durée de la charge.	15 secondes
— du voyage.	60 —
Durée totale entre deux départs.	75 secondes

Ce plan peut donc effectuer 45 voyages à l'heure et passer 11 tonnes à l'heure.

Pratiquement ce tonnage tombe à 7t,5, par suite des pertes de temps occasionnées par le graissage des chariots et des poulies de plan, et surtout par la remontée du matériel nécessaire à l'exploitation des mines. Quand il y a encombrement en haut des plans, on supprime la montée de ce matériel et la capacité du trafic s'élève à 9t,5 par heure.

Avec le travail à deux postes de 8 heures, le plan considéré peut assurer un trafic de 120 tonnes par 24 heures.

Pour le travail de nuit on munit chaque chariot d'une lanterne.

3° *Accidents.* — Malgré la simplicité des appareils des plans aériens, les accidents ne sont pas notablement plus nombreux que sur les plans inclinés ordinaires. Ils sont dus principalement à l'inattention du freinteur.

Il y a toutefois une cause d'accidents spéciale aux plans aériens : elle résulte de *l'action du vent sur le câble tracteur*. Quand le vent souffle latéralement, le tracteur sort du plan vertical du câble porteur correspondant, et, par suite de ce déplacement, il peut arriver qu'un brin du câble tracteur correspondant à un câble porteur, soit accroché par le chariot circulant sur l'autre porteur.

C'est un accident grave qui se produit souvent sur les plans aériens établis au bord de la mer; on ne peut en étudier la gravité qu'à l'aide d'une longue-vue, et quelquefois on est réduit à couper le câble de queue, pour pouvoir effectuer le décrochage. Il faut donc prendre bien soin, dans l'installation d'un système de plans, d'éviter les directions perpendiculaires à la direction des vents régnants. C'est ainsi que, dans les vallées encaissées, on se garde de passer d'un versant à l'autre normalement à la direction de la vallée.

Un plan de 650 mètres, installé dans ces conditions à Kouaoua et de trafic heureusement limité, ne pouvait guère fonctionner que 3 jours par semaine. Sur les mines de la Société d'Exploitation, à Nakéty, au bord de la mer, le service d'un plan aérien de 700 mètres devait être interrompu chaque jour, de 10 heures à 2 heures, par suite de l'action de la brise de mer.

Il est facile d'étudier d'une façon très approximative l'action du vent sur un câble tendu entre deux points.

Soit :

δ le diamètre du câble;
ϖ le poids de l'unité de longueur;
v la vitesse du vent, que je suppose souffler normalement au plan du câble.

Je considère un élément de longueur ds du câble. Cet élément est soumis : aux tensions du câble de part et d'autre, à l'action de la pesenteur ωds et à l'action du vent.

Soit :

P la pression exercée par le vent sur une unité de surface perpendiculaire à sa direction;
p la pression sur l'unité de longueur du câble;

on sait que :

$$p = 0{,}57 P \delta.$$

P est de la forme Av^2, et nous admettrons la formule

$$P = 0{,}012248v^2,$$

dans laquelle P est exprimé en kilogrammes par mètre carré et v en mètres par seconde.

Avec les mêmes unités (mètre, kilogramme, seconde), on a :

$$p = 0{,}0598v^2\delta.$$

Dans un plan vertical, l'élément ds est donc soumis aux deux forces $\omega\, ds$ et $p ds$, toutes les deux proportionnelles à la longueur de l'élément. Le câble affecte encore la forme d'une chaînette, mais son plan n'est plus vertical. Mesuré dans le plan vertical perpendiculaire au plan aérien, l'angle d'inclinaison du plan de la nouvelle chaînette sur le plan vertical du plan aérien est donné par la relation :

$$\operatorname{tg}\alpha = 0{,}0598\,\frac{\delta v^2}{\varpi}.$$

Le poids ω est très approximativement de la forme

$$k\delta^2,$$

d'où

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{0{,}0398}{k}\,\frac{v^2}{\delta}.$$

On voit que l'action du vent est d'autant moins sensible que le câble est d'un plus fort diamètre. Quand un plan est exposé à l'action du vent, il y a intérêt, pour éviter les croisements ci-dessus mentionnés, à employer des tracteurs de diamètre relativement fort. C'est ainsi qu'on emploie quelquefois un tracteur de 10 millimètres, lorsqu'un câble de 6 millimètres serait suffisant dans un endroit abrité.

Soit f la flèche maxima du câble. On peut prendre avec une approximation suffisante la valeur de $tg\,\alpha$ au lieu de celle de $\sin\alpha$. Le déplacement latéral maximum sera :

$$D = f\operatorname{tg}\alpha = f\,0{,}0598\,\frac{\delta v^2}{\varpi} = Cf\,\frac{v^2}{\delta}.$$

Le déplacement latéral maximum est donc inversement proportionnel au diamètre du câble et proportionnel à la flèche. Pour diminuer ce déplacement, on augmente la tension des câbles, de manière à réduire leur flèche.

Si l'on prend

$$A = 0{,}0598\,\frac{\delta}{\varpi}$$

pour un câble de diamètre donné, le déplacement latéral maximum sera :

$$D = A f v^2.$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de A pour les câbles en usage :

δ en mètres	ϖ en kilogr.	$\frac{\delta}{\varpi}$	A
0,0063	0,130	0,048	0,00288
0,0081	0,214	0,041	0,00246
0,0100	0,320	0,031	0,00186
0,0180	1,059	0,017	0,00102
0,0198	1,280	0,015	0,00090

Pour une brise de 15 mètres à la seconde, la valeur de D qui est de 0,65 f pour un câble de $6^{mm},3$, se réduit à 0,42 f pour un câble de 10 millimètres et tombe à 0,20 f pour un câble porteur de 20 millimètres.

Les câbles tracteurs des plans longs présentent souvent des flèches de 10 mètres, on conçoit donc bien la possibilité de croisements par déplacement latéral.

4° *Prix de revient.* — Le prix de revient des plans installés à Kouaoua dans les conditions précédemment décrites, s'élève de 6.000 à 8.000 francs par kilomètre, tous frais compris.

Les frais d'exploitation avec la main-d'œuvre des Tonkinois et des Canaques dont la journée revient à 3 francs, sont de $0^f,50$ par tonne kilométrique.

Les plans ne sont pas en service depuis un temps suffisamment long pour qu'on puisse assigner une durée aux câbles. Il semble cependant que les câbles porteurs d'un plan dont le trafic est de 500 tonnes par mois, aient une durée supérieure à 6 années.

La durée des câbles tracteurs est en fait supérieure à 3 années, à condition que les câbles soient toujours maintenus parfaitement graissés.

TABLE DES MATIÈRES

I. — DÉFINITION ET UTILITÉ DES PLANS AÉRIENS.

Pages

Divers modes de transports aériens. Définition d'un plan 593
Transports sur câble unique. 596
Difficulté des transports en Nouvelle-Calédonie. Utilité des plans aériens. 598
Anciens plans aériens. 600
Emploi des sacs pour les transports. 601
Relais de plans. 602

II. — MATÉRIEL DES PLANS INCLINÉS.

1° *Appareils fixes d'un plan aérien.* 604
a. Câbles porteurs. 604
b. Ancrage du haut du plan. 609
c. Amarrage du bas. 611
2° *Appareils mobiles.* 613
a. Câble tracteur sans fin. 614
b. Poulie à frein du haut. 615
c. Poulie du bas. 618
d. Chariots 618

III. — ÉQUILIBRE DE L'APPAREIL MOBILE.

Pages

1° Tension du câble tracteur. 619
2° Adhérence du câble sur la poulie à frein. 622
3° Action produite par le serrage du frein. 623
4° Application. 625

IV. — PLANS AÉRIENS NON-AUTOMOTEURS.

Balances de déblais. 626
Plans à un seul câble porteur. 626
Plans bisautomoteurs. 627

V. — ÉTUDE D'UN PROJET DE PLANS AÉRIENS.

Généralités. 630
Plans aériens de Kouaoua. 634

VI. — MISE EN PLACE DES CABLES.

1° Lancement du câble tracteur. 637
2° — d'un câble auxiliaire. 637
3° — des câbles porteurs. 638

VII. — EXPLOITATION DES PLANS AÉRIENS.

1° Main-d'œuvre. 638
2° Capacité de trafic d'un système de plans. 639
3° Accidents. Influence du vent 640
4° Prix de revient et frais d'exploitation. 643

BULLETIN

DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR

SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1893.

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
2 janv.	Papeterie, à Boulieu (Ardèche).	Chaudière composée d'un corps principal de 1m,50 de diamètre et 6m,40 de longueur, avec foyer intérieur et faisceau de tubes à fumée, et d'un bouilleur de 0m,50 de diamètre, suspendu sous le corps principal par deux hautes communications, et faisant office de réchauffeur. Capacité, 11 mètres cubes. Timbre, 6k6,5. Construction, 1871. Les deux communications de 0m,30 de diamètre et 0m,80 de hauteur, qui supportaient tout le poids du bouilleur inférieur, présentaient chacune un joint boulonné, d'autant plus sujet à fuir que le générateur était exposé à ressentir les trépidations d'une machine montée sur lui. La tôle du bouilleur, au voisinage des communications, s'était corrodée extérieurement par l'effet des fuites, à tel point qu'à trois reprises, en 1891-92, les corrosions avaient percé la tôle; on avait mis des contre-pièces sur ces avaries.	On reprenait le travail de l'usine après un jour de chômage. Depuis une heure environ, la chaudière fournissait la vapeur nécessaire pour réchauffer la machine à papier, et le chauffeur s'occupait de dégeler la pompe alimentaire, quand le bouilleur inférieur se déchira près d'une communication. Dans la région où la déchirure prit naissance, la corrosion avait réduit l'épaisseur du métal à environ 6/10 de millimètre. La partie postérieure du bouilleur se sépara du reste et fut projeté à 9 mètres de là.	Le fourneau défoncé et un plancher brisé par la projection d'une partie du bouilleur. Un ouvrier blessé mortellement (brûlé par la vapeur et atteint, en outre, par quelques débris du plancher), un autre grièvement (contusion et brûlure).	Déchirure du bouilleur inférieur, que des corrosions extérieures profondes, consécutives à des fuites d'assemblages, avaient affaibli à l'excès. Cet affaiblissement est de nature, à lui seul, à expliquer l'accident. Il est possible que durant l'heure qui a précédé l'explosion, la pression de la chaudière ait progressivement monté à une valeur anormale, mais cet excès de pression n'est pas démontré.
5 janv.	Fabrique de briquettes, à Caen (Calvados).	Chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs. Capacité, 19mc,647. Timbre, 6 kg. Epreuve, 1885. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur à sifflet. Ce dernier appareil ne fonctionnait pas, par suite de la désagrégation de la meule en grès constituant le flotteur.	Un matin, une heure et demie après l'allumage des feux et avant la mise en marche des machines, pendant que le chauffeur alimentait, la tôle de coup de feu du bouilleur de droite se déchire sur 1m,90 de longueur. La porte de la chaufferie s'ouvrait vers l'intérieur; elle se trouva coincée, le chauffeur ne put l'ouvrir et l'on dut la forcer de l'extérieur avec des pinces avant de porter secours au malheureux ouvrier.	Aucun dégât matériel important; mais le chauffeur a été grièvement brûlé.	L'accident paraît avoir eu pour cause une surchauffe, consécutive à un manque d'eau.
9 janv.	Usine d'élévation d'eau, à Paris (Seine).	Chaudière à petits éléments, système Roser à tubes bouilleurs simples. Diamètre extérieur de ces tubes, 120 millim. Capacité totale du générateur, 7mc,689. Surface de chauffe, 100 m. q. Timbre, 10 kg. Les indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un flotteur Chaudré. Le tube de verre était assemblé, à sa base, au moyen d'une bague de caoutchouc, dans une monture où le logement de la bague descendait jusqu'au ras de l'extrémité inférieure du tube. Il n'existait pas dans l'usine d'habitudes suffisamment méthodiques et régulières pour la purge des tubes de verre. Les portes de foyer n'avaient pas de système de fermeture.	Le flotteur Chaudré se trouvait hors de service, son mécanisme s'étant dérangé à la suite du départ d'une goupille. Quant au tube de verre, il était entièrement bouché à sa base, ainsi qu'on l'a reconnu après l'accident, par le caoutchouc de sa garniture refoulé au-dessous de lui. Surchauffe et déchirure d'un tube bouilleur, avec les caractères d'un coup de feu par manque d'eau. La bouffée de vapeur ouvre en grand les portes du foyer ainsi que les grandes portes de devanture, qui n'étaient probablement que poussées sans que leur crémone fût en prise.	Trois ouvriers brûlés grièvement.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau. Ce manque d'eau a eu pour cause principale le dérangement du tube indicateur en verre, obstrué par le caoutchouc de sa garniture, tandis que de son côté le flotteur Chaudré était hors service.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
14 janv.	Chemin de fer à Bercy (Seine).	Locomotive de manœuvres. Chaudière munie de 134 tubes à fumée en laiton de 48 millim. de diamètre, 2 millim. d'épaisseur primitive et 3 mètres de longueur. Timbre, 8 kg. Une première rupture de tube s'était produite le 1er janvier.	Un tube à fumée s'étant percé et aplati près de la plaque tubulaire du foyer, le jet de vapeur et d'eau a ouvert la porte du foyer, probablement mal fermée, et atteint à la jambe et à la cuisse un agent présent sur la machine.	Un agent brûlé assez grièvement.	Usure du métal.
13 mars.	Féculerie-glucoserie. à Tournus (Saône-et-Loire).	Chaudière composée d'un corps horizontal de 1m,70 de diamètre et 7 mètres de longueur, renfermant un foyer cylindrique de 1 mètre de diamètre et 3m,40 de longueur, formé de trois viroles, et en prolongement de ce foyer un faisceau de tubes à fumée. Fourneau de maçonnerie offrant le long de la chaudière, au-dessous du niveau de l'eau, un carneau de retour de flamme. Capacité, 13m3,6. Timbre, 6 kg. Le tuyau d'alimentation, qui aboutissait au bas de la chaudière, portait, à la suite du clapet de retenue, un robinet d'isolation appartenant au type à presse-étoupes, dont les fuites ne se manifestent pas au dehors.	Durant le poste de nuit qui précéda l'accident, la chaudière était restée en réserve sous pression. Vers cinq heures du matin, affaissement de la seconde virole du foyer, avec rupture transversale. Tous les indices d'un coup de feu par manque d'eau. Il a été constaté, après l'accident, que le robinet d'isolation du tuyau alimentaire manquait d'étanchéité; on a émis l'hypothèse que la chaudière avait pu se vider pendant la nuit, par suite de cette circonstance et d'un défaut d'étanchéité du clapet de retenue.	Chauffeur contusionné peu grièvement.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau.
21 mars.	Forges, à Inzinzac (Morbihan).	Chaudière semi-tubulaire, composée d'un seul corps cylindrique contenant 27 tubes à fumée de 75 millim. de diamètre extérieur et 3 mètres de longueur. Tubes en laiton, provenant d'une ancienne chaudière marine, adaptés à la chaudière dont il s'agit vers 1886, après avoir été allongés au moyen de raboutages. Les tubes ajoutés provenaient d'environ du même lot de tubes anciens. Depuis l'installation, on avait dû remplacer successivement un certain nombre de ces tubes. Les autres n'avaient pas été sortis pour être vérifiés. Dernière épreuve, janvier 1890.	Pendant un arrêt de la machine qui se trouvait stoppée depuis quatre ou cinq minutes pour une menue réparation, deux tubes s'écrasent dans leur partie raboutée, sur 0m,40 de longueur à partir de leur extrémité postérieure (extrémité correspondant à l'entrée des gaz chauds dans le faisceau tubulaire). Le flux s'échappant par les trous de la plaque tubulaire, renverse le parement de briques fermant le fourneau à l'arrière, et envahit le local.	Le chauffeur brûlé grièvement. Deux apprentis, qui étaient venus voir pourquoi la machine était stoppée, brûlés l'un grièvement, l'autre légèrement.	Aplatissement des parties raboutées de deux tubes à fumée d'âge ancien, dont l'état n'avait pas été l'objet de vérifications efficaces. Les renseignements recueillis ne suffisent d'ailleurs pas pour affirmer avec certitude qu'elle a été [illegible] de leur écrasement.
1er avril.	Blanchisserie de rideaux, à Paris (Seine).	Chaudière cylindrique à foyer extérieur et retour de flammes tubulaire. Capacité, 1 m. cube. Timbre, 6 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en deux tubes de verre, reliés à la chaudière par des tuyaux en grande partie rampants; même il est possible que l'un au moins des tuyaux de communication d'eau eût une courbure déterminant une région basse entre la chaudière et le tube correspondant. Quelques obstructions particles aux débouchés de ces tuyaux.	Le chauffeur habituel, s'étant trouvé souffrant et obligé de quitter l'usine, fut remplacé par un ouvrier qui, après quelques heures, s'aperçut d'une baisse de pression à laquelle il ne put remédier. On fit appel à un chauffeur du voisinage qui ouvrit les robinets de purge des tubes de verre, et parait avoir été trompé par les apparences données par l'un d'eux. Il pensa qu'on pouvait continuer à faire fonctionner la chaudière, et mit la bouteille alimentaire en fonctionnement. Vers ce moment, le corps cylindrique se déchira au coup de feu.	Un ouvrier, qui se trouvait sur la plate-forme supérieure du fourneau, brûlé peu grièvement. Il n'y avait personne dans la chambre de chauffe.	Défaut d'alimentation, consécutif à une mauvaise installation des tubes indicateurs du niveau de l'eau et à l'emploi accidentel d'un chauffeur inexpérimenté.
13 avril.	Fabrique de pâte à papier, à Chantenay (Loire-Inférieure).	Chaudière semi-tubulaire à bouilleurs, qui venait d'être installée dans l'usine après avoir été éprouvée chez le constructeur pour le timbre de 7 kg. Corps cylindrique contenant 80 tubes en fer, disposés en rangées verticales alternativement composées de tubes sertis non amovibles et de tubes amovibles système Berendorf. Diamètre intérieur de ceux-ci, 103 millim.; longueur, 5m,55. Comme garantie contre le cas où l'un d'eux tendrait à sortir de ses emmanchements coniques en se déplaçant vers l'avant, une contre-plaque, avec trous percés au diamètre intérieur des tubes, avait été fixée devant la plaque tubulaire d'avant.	Au premier allumage, quand la pression est montée à 6 kilogr., quelques fuites se déclarent aux emmanchements des tubes. On arrête la chauffe et l'on appelle un ouvrier du constructeur. Cet ouvrier fait baisser la pression à 1 k. ou 1 k. 1/2, puis cherche à étancher les assemblages des tubes amovibles, non pas en enfonçant longitudinalement les tubes au moyen de l'instrument *ad hoc*, mais en agissant sur les emmanchements par expansion au moyen des broches servant à sertir les tubes ordinaires. Pour faire ce travail à l'avant, il enlève la contre-plaque. Pendant qu'il opère sur l'emmanchement d'avant de l'un des tubes, celui-ci est violemment projeté hors de la chaudière, d'où s'échappe un flux d'eau bouillante.	Un ouvrier brûlé grièvement; un autre grièvement blessé dans une chute qu'il fait tandis qu'il s'enfuit.	Conséquence d'une opération dangereuse, effectuée en vue de rendre étanches les emmanchements des tubes amovibles qui présentaient des fuites à la suite du montage de la chaudière. Cette opération a été faite alors que la chaudière avait encore de la pression; l'outillage employé n'était nullement approprié au système des tubes; ces circonstances expliquent que l'un d'eux ait été projeté au dehors.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
26 avril.	Teinturerie, à Roanne (Loire).	Récipient cylindrique de 1m,485 de diamètre intérieur, et 2m3,6 de capacité, avec couvercle maintenu par des boulons à charnière. Ce couvercle, fait en tôle de 12 ou 13 millimètres d'épaisseur, était légèrement bombé dans sa partie centrale, mais son pourtour était plan et renforcé par une cornière en tôle de 15 millim. L'aile verticale de cette cornière venait s'appuyer dans une rainure circulaire à la partie supérieure du récipient; des encoches, ménagées dans le pourtour plan, recevaient 28 boulons à articulation, agissant en porte à faux pour fixer le couvercle en place. Construction, 1885 Timbre. 5 kg. Appareil pourvu d'une soupape. En 1890, quelques fissures s'étant montrées au voisinage de la cornière, on avait rivé une contre-plaque sur la partie avariée. Cet appareil est à comparer avec celui qui a donné lieu à un accident analogue, dans une autre teinturerie de la même ville, le 4 octobre 1888.	Au cours d'une opération qui devait se faire à la pression de 1 kg., départ violent du couvercle qui est projeté à 90 mètres de distance. Ce couvercle était cassé et déformé; aucun des boulons d'attache n'avait été arraché ni rompu. L'hypothèse a été émise que la vanne d'arrivée de vapeur avait été ouverte en grand par erreur, mais on n'en a aucune preuve. La cornière était corrodée, ainsi que la tôle du couvercle le long de la cornière; on voyait sur cette tôle plusieurs commencements de fissures; sur certains points elle cassait facilement au choc; enfin, la cassure de la partie arrachée paraissait ancienne en divers endroits.	Renversement d'un mur de 4 mètres de haut et 10 mètres de long, et de la toiture que ce mur supportait. Un ouvrier tué sur le coup, un autre grièvement blessé, plusieurs personnes légèrement atteintes.	L'explosion doit être avant tout rapportée à la constitution défectueuse et au mauvais état du couvercle qui, sous la pression de la vapeur, s'est déformé, brisé, et a fait lâcher prise à ses boulons à charnière. Il est possible que la pression ait été plus forte que de coutume ou que les boulons aient été mal en prise, mais ces hypothèses ne sont pas nécessaires pour expliquer l'accident.
3 mai.	Papeterie, à Pont-Audemer (Eure).	Chaudière semi-tubulaire à deux bouilleurs, dont le corps supérieur, de 1m,50 de diamètre et 4m,74 de longueur, renferme 18 tubes à fumée en laiton, de 0m,12 de diamètre et de 0m,0028 à 0m,003 d'épaisseur. Les gaz chauds lèchent, dans un premier parcours, le corps cylindrique de [illegible] puis reviennent sur l'avant par le faisceau tubulaire, légèrement incliné en montant d'arrière en avant. Capacité, 11 mètres cubes. Surface de chauffe, 68 mètres carrés. Timbre, 6 kg. Chaudière fonctionnant jour et nuit. L'installation date de 1870; à cette époque la chaudière était pourvue de deux réchauffeurs. En 1876, on commença à être obligé de remplacer des tubes; à cette même époque on supprima les réchauffeurs, et la position donnée à l'amorce de la cheminée dans la boîte à fumée, jointe à la construction d'une murette dissymétrique dans le carneau du premier parcours, eut pour résultat de rendre le tirage plus vif à gauche qu'à droite dans le faisceau tubulaire. En 1886, remplacement de tous les tubes, après constatation de l'affaiblissement de plusieurs d'entre eux. Le 4 avril 1893, remplacement d'un tube.	Un tube de la rangée supérieure (le troisième à partir de la gauche des six tubes composant cette rangée) s'est écrasé et fragmenté sur 0m,35 à partir de la plaque tubulaire d'arrière. Un manomètre enregistreur, placé sur un ballon de vapeur communiquant aux quatre chaudières de la batterie, marquait à ce moment 3 kg. 3/4. Le tube voisin, vers la gauche, a subi une déformation qui a été considérée comme une conséquence de l'écrasement du premier. Dans les parties rompues du tube écrasé, l'épaisseur du métal n'était plus que de 2mm,2 à 2mm,6.	Aucun dégât matériel, mais le jet provenant du trou béant de la plaque tubulaire a refoulé vers la chambre de chauffe, et la [illegible] brûlé mortellement.	Écrasement d'un tube à fumée, à l'extrémité par laquelle les gaz chauds y pénétraient. Ce tube, fait de laiton, et mesurant 4m,74 de longueur, était en service depuis six ans et demi [illegible] dispositions dissymétriques du fourneau étaient de nature à localiser le courant gazeux dans une partie du faisceau tubulaire. Ces circonstances peuvent suffire à rendre compte de la rupture par suite de l'altération du métal, d'autant mieux qu'un autre tube du faisceau avait dû être remplacé un mois avant l'accident. L'hypothèse d'un abaissement du plan d'eau est possible mais n'est appuyée sur aucun indice positif.
6 mai.	Fonderie, à Abbeville (Somme).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs. Capacité, 1m3,437. Surface de chauffe, 11 mètres carrés. Timbre, 4 kg. Age inconnu. Le fond antérieur du corps cylindrique, fait en tôle emboutie de 9 millim. d'épaisseur primitive, était en partie plongé dans le carneau des gaz chauds; sur un point de sa partie chauffée était fixé un piètement de fer, d'où partait un tuyau de cuivre traversant le carneau et établissant la communication inférieure entre la chaudière et le tube en verre indicateur du niveau de l'eau. Ce piètement était fortement oxydé, et, tout autour de lui, la tôle du fond de chaudière était extrêmement amincie par corrosion extérieure.	Déchirure de la tôle autour du piètement, suivant la périphérie de la partie corrodée. Le long des lèvres de la déchirure, on a mesuré des épaisseurs voisines de 1 millim.	Quelques dégâts matériels. Le chauffeur, cherchant à se sauver, s'est jeté dans une rivière qui coule sous les murs de l'usine, puis, en ressortant aussitôt, est rentré dans la chambre de chauffe pour s'enfuir de l'autre côté. Il est mort le lendemain, en partie par brûlure et en partie par refroidissement.	Corrosion extérieure profonde autour du piètement d'un tuyau de prise d'eau, piètement qui était placé à l'intérieur d'un carneau de fumée et qui a dû fuir.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
15 mai.	Manufacture de drap, à Sedan (Ardennes).	Chaudière horizontale formée d'un corps principal de 1m,20 de diamètre et 8m,93 de long, et de trois bouilleurs de 0m,55 de diamètre et 9m,55 de long, faiblement inclinés sur l'horizontal et communiquant chacun avec le corps principal par deux jambettes placées toutes deux à l'avant. Chacune de ces jambettes avait 0m,24 de diamètre, et la section libre de la communication était diminuée par un tirant et des étriers d'assemblage, et par un notable entartrement. Construction, 1865. Timbre primitif, 5kg,5, élevé en 1872 à 6kg,5. Essai à la presse en 1892, fait sans enlever la cloison horizontale en briques reposant sur la partie supérieure des bouilleurs. Chaudière activement poussée en hiver. Eau d'alimentation donnant des dépôts abondants. Dernier piquage en mars.	Violente explosion consistant dans la fragmentation des bouilleurs. Les tôles avaient conservé leur épaisseur primitive. Elles offraient, après l'explosion du moins, 8,20 p. 100 d'allongement à la rupture en long, et 1,83 p 100 en travers. Sur plusieurs des débris on a reconnu l'existence de criques normales aux feuillets du métal; trois fissures longitudinales de 75, 55 et 32 centimètres de longueur, situées dans la région supérieure des bouilleurs, étaient accompagnées de traces de tartre sur la face extérieure de la tôle, prouvant qu'elles avaient fui avant l'explosion. En avril, une fuite avait été signalée à une clouure circulaire du bouilleur du milieu : on l'avait considérée comme une fuite d'assemblage et aveuglée par un matage.	Le corps de chaudière a été lancé à la hauteur d'un troisième étage; le bâtiment de la machine a été complètement démoli; des ateliers contre lesquels la machine était installée ont été éventrés. Cet accident a causé la mort de onze personnes, dont dix tuées sur le coup. Sept autres personnes ont été blessées, dont quatre grièvement.	Fatigue et aigreur des tôles de cette chaudière d'âge ancien. Il y a lieu de remarquer : d'une part, la disposition vicieuse et l'étroitesse des communications entre les bouilleurs et la chaudière, la faible pente des bouilleurs ainsi reliés au corps cylindrique, l'influence pernicieuse qu'ont dû avoir ces formes, favorisant la production de matelas de vapeur et, par suite, la surchauffe des tôles; d'autre part, l'état de détérioration dont on a l'indice dans l'existence de criques, avec traces d'entartrement sur la face extérieure des tôles, à la partie supérieure des bouilleurs, partie qui, en raison des dispositions et de l'âge de la chaudière, aurait nécessité des examens particulièrement attentifs. On peut supposer que la fuite qui s'est manifestée peu de temps avant l'explosion et en présence de laquelle on a cru suffisant de l'étancher par un matage, était un prodrome de l'accident.
20 mai.	Transbordement de pétrole, à Calais (Pas-de-Calais).	Chaudière à petits éléments, système De Naeyer, comprenant un faisceau de 48 tubes bouilleurs de 120 millim. de diamètre extérieur, 2 millim. d'épaisseur et 4m,30 de long, surmonté d'un réservoir d'eau et de vapeur. Capacité, 11m3,5. Timbre, 12 kg. Première mise en service en 1890; fonctionnement intermittent. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau, reliés par de longs tuyaux avec le collecteur inférieur et avec le réservoir supérieur d'eau et de vapeur, comprenaient deux tubes de verre dont le milieu était à un niveau voisin de celui de la rangée supérieure des tubes bouilleurs.	Le chauffeur ayant cru s'apercevoir que l'injecteur ne fonctionnait plus régulièrement, on jeta le feu bas, après un essai de l'injecteur fait par un chef de service et trouvé satisfaisant, on se décida, sans purger les tubes de verre, à reprendre le travail. On rechargeait le foyer, quand un tube de la rangée supérieure s'ouvrit sur 0m,43 de longueur, suivant sa génératrice inférieure, en dehors de la soudure, dans une région amincie où l'on a constaté des traces de coup de feu peu étendues.	Neuf personnes brûlées, dont six grièvement.	La cause de la rupture n'a pas été entièrement élucidée. Il est très vraisemblable qu'elle a été produite par un coup de feu par manque d'eau, attribuable à ce que les appareils indicateurs du niveau de l'eau, placés trop bas et reliés à la chaudière par de longs tuyaux, ont pu montrer de l'eau quand le tube bouilleur supérieur en manquait déjà. En outre, on a simplement consulté ces appareils du regard sans prendre la précaution de les purger.
3 juin.	Manufacture de tissus, à Hauviné (Ardennes).	Chaudière dont le clapet de retenue d'alimentation datait de dix-huit ans.	Le chapeau de boîte à clapet ayant sauté par suite de l'usure des filets de vis, le chauffeur arrête l'alimentation, puis vient fermer le robinet interposé entre le clapet et la chaudière; pendant cette manœuvre, le jet de vapeur le frappe au visage.	Chauffeur brûlé sans gravité.	Départ d'un chapeau de boîte à clapet en mauvais état.
5 juin.	Fabrique de papier, à Rochechouart (Haute-Vienne).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs inférieurs et deux réchauffeurs latéraux. Capacité, 7m3,6. Timbre, 5 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un sifflet d'alarme. Il est possible que ce dernier ne fût pas en bon état.	Une heure après que le chauffeur, croyant voir le tube de verre plein, avait arrêté la pompe alimentaire, un ralentissement de la machine à vapeur fut signalé; 2 h. 3/4 plus tard, le chauffeur s'apercevait que le tube était vide; il remit l'alimentation en activité et commença à recharger son feu; presque aussitôt après, déchirure du bouilleur de gauche, au coup de feu, sur 0m,95 de longueur. Les constatations faites sur l'avarie indiquaient une tôle surchauffée.	Le chauffeur, se trouvant sur le côté de la chaudière, à une distance de 2 ou 3 mètres, n'a pas été atteint par le jet de vapeur. Aucun dégât matériel.	Surchauffe par manque d'eau.
6 juin.	Chemin de fer, à Béziers (Hérault).	Chaudière locomotive construite en 1855. Timbre, 7kg,5. En 1884, une fuite s'était déclarée à l'angle dièdre postérieur, côté gauche, de l'enveloppe du foyer; on avait réparé cette partie et rééprouvé la chaudière.	Déchirure de 0m,37 de longueur, avec 8 millim. de bâillement, le long de l'angle dièdre postérieur, côté droit, de l'enveloppe du foyer. La déchirure, située dans l'embouti du bord vertical de la tôle de façade arrière, provenait d'un sillon de corrosion intérieure le long de cet embouti. Une demi-heure auparavant, le mécanicien avait remarqué que la chaudière avait une fuite du côté du régulateur, mais n'y avait pas attaché d'importance.	Le mécanicien et un employé pilote qui se trouvait sur la machine ont été brûlés grièvement.	Corrosion intérieure, dont le caractère est bien connu, et dont un exemple antérieur avait donné lieu, neuf ans auparavant, à une réparation de la partie symétrique de la même chaudière.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
22 juin	Forges, à Lorette (Loire).	Chaudière cylindrique verticale chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer. Diamètre, 1m,20. Hauteur, 15 mètres. A la base de ce corps cylindrique était un appendice horizontal de 0m,90 de diamètre, terminé par une tête en fonte. Capacité totale du générateur 18 m. c.; Timbre, 6 kg. Construction et épreuve remontaient à 1883. La chaudière, habituellement en chômage, était dépourvue de manomètre. A la rivure reliant la tête en fonte avec la partie cylindrique de l'appendice, les trous de rivets dans la tête étaient venus de fonte et un certain nombre de rivets étaient tordus. A une chaudière semblable on avait dû, en mai, remplacer la tête en fonte à laquelle on avait reconnu des fissures le long de la rivure.	Le four à réchauffer était allumé depuis la veille, sans que la vapeur produite fût utilisée. Un voisin de l'usine a déclaré que les soupapes, placées au sommet de la chaudière, avaient donné lieu à un dégagement de vapeur prolongé et insolite. Rupture de la tête en fonte suivant la ligne des rivets, et projection à 45 mètres de distance. La section de rupture montrait des cassures préexistantes étendues.	Cinq ouvriers tués, deux blessés grièvement et six blessés sans gravité.	Rupture de la tête en fonte, causée : 1° d'une part, par un affaiblissement de la section droite passant par les trous des rivets; la rivure, faite sur trous venus de fonte et peut-être avec l'aide de la broche, offrait des rivets tordus, et il s'était produit entre ces rivets des cassures qui intéressaient une portion considérable de la section; 2° d'autre part, vraisemblablement, par un excès de pression dans la chaudière, dépourvue de manomètre et chauffée sans autre issue offerte à la vapeur que les soupapes, qui n'ont été ni déchargées ni soulevées.
4 juillet	Distillerie, à Canteleu (Seine-Inférieure).	Chaudière type Victoor et Fourcy, composée d'un générateur à bouilleur suivi d'un corps tubulaire. Ce dernier contient 76 tubes à fumée en laiton de 0m,09 de diamètre et 2mm,5 d'épaisseur normale, formant le dernier parcours des gaz chauds. Capacité, 14 m. c. Timbre. 6kg,5. (Comparer avec l'accident du 3 janvier 1891.)	Deux tubes à fumées de la rangée supérieure, dont l'épaisseur était réduite à 2 et 1mm,5, s'écrasent sur des longueurs respectives de 125 et 150 millim. Il a été constaté que le tube indicateur du niveau de l'eau était obstrué par de la vase à sa partie inférieure, et que le sifflet de manque d'eau était cravaté.	Néant.	Faible épaisseur des tubes eu égard à leur diamètre et à la pressiou qu'ils supportaient, et peut-être surchauffe résultant d'un abaissement du plan d'eau.

25 juillet	Fabrique de ciment à Pont-à-Vendin (Pas-de-Calais).	Chaudière à flammes renversées, composée d'un corps cylindrique de 1m,20 de diamètre et 6m,80 de longueur, sous lequel était placée la grille du foyer, et d'un bouilleur inférieur relié au corps principal par deux cuissards. Capacité, 11 m. c. Timbre. 5 kg. Construction, 1873; dernière épreuve, 1888, à la suite du remplacement de la première tôle du corps cylindrique.	Déroulement en grand des deux viroles d'avant du corps cylindrique. L'ouverture s'est faite suivant une génératrice, sur le côté gauche de ce corps. L'aspect du métal indiquait un coup de feu; la chaudière était propre.	Dégâts matériels considérables. Aucun accident de personne.	L'explosion a probablement eu pour cause un manque d'eau, dont il a d'ailleurs été impossible de préciser l'origine.
28 juillet	Mine de houille, à Drocourt (Pas-de-Calais).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, avec un réchauffeur de 0m,70 de diamètre et 13m,75 de longueur, en tôles d'une épaisseur primitive de 10 ou 11 millim. Timbre, 5 kg. Le réchauffeur reçoit l'eau d'alimentation à son extrémité d'avant, et son extrémité d'arrière communique avec l'arrière des bouilleurs par un tuyau en cuivre de 0m,08 de diamètre.	Le réchauffeur s'est ouvert suivant la génératrice supérieure de la première virole. Dans la région de la rupture, la tôle présentait des corrosions, tant intérieures qu'extérieures, par suite desquelles l'épaisseur était réduite à environ 7 millim., suivant une plage allongée, aux extrémités de laquelle elle s'abaissait même à 2 millim. Le tuyau de communication du réchauffeur avec les bouilleurs de la chaudière était en majeure partie obstrué par une concrétion de carbonate de chaux.	Les quatre chauffeurs présents brûlés, savoir : trois mortellement et le quatrième grièvement.	L'explosion a été vraisemblablement la conséquence d'un excès de pression qui a dû résulter, sous l'action de la pompe alimentaire, de l'obstruction presque complète du tuyau de communication entre le réchauffeur et le reste de la chaudière; excès de pression s'exerçant sur un appareil affecté de corrosions intérieures et extérieures.
2 août	Chemin de fer à Paris.	Chaudière de grue à vapeur, munie de 36 tubes à fumée de 50 millim. de diamètre, 2 millim. d'épaisseur primitive et 1m,80 de longueur, qui avaient été posés en 1890, mais n'étaient pas neufs à cette époque. Timbre, 5 kg.	Rupture d'un tube à fumée, qui avait perdu 38 p. 100 du poids à l'état neuf.	Un agent blessé grièvement.	Usure du métal.
5 août	Chemin de fer à Paris.	Chaudière locomotive, portant 158 tubes à fumée en laiton de 50 millim. de diamètre, 2 millim. d'épaisseur primitive et 3m,247 de longueur. Timbre, 7kg,5. La pose de la tubulure remontait à 1881; à cette époque, elle n'était pas neuve.	Rupture d'un tube à fumée, qui avait perdu 27 1/2 p. 100 de son poids primitif.	Un agent blessé grièvement.	Usure du métal.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
26 août	Fabrique de pâte à papier, à Domène (Isère).	Chaudière composée essentiellement d'un corps cylindrique horizontal de 1m,98 de diamètre et 8 mètres de longueur, et de deux foyers intérieurs de 0m,75 de diamètre, en tôle de 12 millim., s'étendant d'un bout à l'autre du corps cylindrique. — Capacité, 20 m. c. Timbre, 5 kg. — Les indicateurs du niveau de l'eau consistaient en deux tubes de verre.	Affaissement et rupture de la partie supérieure du foyer de droite. La tôle avariée présentait les colorations caractéristiques de la surchauffe. La chaudière était propre. L'explosion a seulement projeté une minime quantité d'eau et de boue contre le mur faisant face à l'appareil.	Chauffeur mortellement brûlé.	Coup de feu consécutif à un défaut d'alimentation.
13 sept.	Scierie, à Paris.	Chaudière horizontale à deux bouilleurs; ceux-ci mesurant 0m,50 de diamètre, en tôle de 10 millim. Capacité, 5mc,231. Timbre, 7 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient : 1° un tube de verre, relié à la chaudière par un tuyau de communication de vapeur de 20 millim de diamètre extérieur et 0m,10 de long et un tuyau de communication d'eau de même diamètre et 3m,78 de longueur, dont le tracé compartait une région basse; 2° un flotteur, qui était peut-être en mauvais état par suite de la désagrégation de sa meule flottante.	Un matin, à la reprise du travail, déchirure du bouilleur de gauche, au coup de feu, sur 0m,015 de longueur; la tôle de cette partie du bouilleur offrait une extension sensible et montrait la coloration bleue de l'oxyde des battitures. L'autre bouilleur présentait à un moindre degré une coloration analogue. Il n'y avait pas d'entartrement important. Il n'y eut ni dégâts extérieurs, ni eau répandue.	Le chauffeur brûlé mortellement.	Coup de feu consécutif à un manque d'eau. Les causes de ce manque d'eau n'ont pu être déterminées avec certitude; mais en tout cas les dispositions des communications du tube en verre étaient vicieuses.
24 sept.	Grue à vapeur, à Epernay (Marne).	Chaudière verticale tubulaire à flamme directe. Le foyer intérieur, de 0m,68 de diamètre et 0m,80 de hauteur, en tôle de 10 millim., était relié par le bas au bas du corps cylindrique par un cadre en fer plat de section carrée (0m,05 × 0m,05). Capacité, 0mc,990. Timbre, 7 kg. Âge inconnu. Dernière épreuve, 1887. On ne faisait de l'appareil de levage auquel appartenait cette chaudière qu'un usage intermittent, et à la suite de chacune des périodes d'emploi, l'on vidangeait le générateur.	Déchirure de la tôle cylindrique du foyer, sur une assez grande longueur au ras du cadre inférieur, et sur une longueur moindre au ras de la plaque tubulaire formant le ciel du foyer. La chaudière a été lancée en l'air tout d'une pièce et est allée retomber à 20 mètres de distance. Il a été constaté qu'une cassure ou un sillon de corrosion avait affecté la tôle du foyer, du côté de l'eau, et ne laissait que 2 ou 3 millim. d'épaisseur intacte, à l'endroit le plus avarié. La tôle présentait une paille dans cette région.	Néant.	Mauvais état du foyer, qui présentait du côté de l'eau, au ras du cadre inférieur, une ligne de fissuration affectant en certains points la plus grande partie de l'épaisseur de la tôle. Les conditions d'emploi de la chaudière, dont la vidange, après chaque période de fonctionnement, devait laisser de l'humidité séjourner le long de cette ligne, prêtaient à pareille avarie.
25 sept.	Teinturerie et apprêtage d'étoffes, à Roubaix (Nord).	Chaudière Galloway, composée d'un corps cylindrique de 2m,20 de diamètre et 9m,70 de longueur, à l'intérieur duquel se trouvent deux foyers cylindriques de 0m,906 de diamètre et 2m,77 de longueur, puis une boîte de combustion traversée par 33 bouilleurs tronconiques. Deux bouilleurs réchauffeurs complètent l'installation. Capacité, 26 m3. Timbre, 5kg,5. Les indicateurs du niveau de l'eau consistent en un tube de verre directement appliqué sur la paroi de façade, et un flotteur Letbuillier-Pinel.	Un matin, à la reprise du travail, le foyer de droite s'est affaissé en grand et déchiré. L'aspect de l'avarie dénotait un fort coup de feu. Le foyer de gauche et le commencement de la chambre de combustion portaient quelques traces de surchauffe. L'enquête a montré que le bouilleur réchauffeur, placé dans le dernier parcours des gaz de la combustion, avait sa partie inférieure diversement corrodée, et portait, auprès d'une clouure circulaire, qui évidemment avait fui, un trou de corrosion de 7 millim. × 8 millim.	Le chauffeur a été légèrement brûlé; un chauffeur d'une batterie voisine a été frappé par un débris projeté et s'est démis l'épaule en s'enfuyant.	Manque d'eau consécutif à la production d'un trou de corrosion dans un bouilleur réchauffeur en mauvais état. L'accident aurait été très vraisemblablement évité si le chauffeur avait purgé le tube de verre à la reprise du service.
25 sept.	Apprêtage d'étoffes, à Saint-Dié (Vosges).	Tambour sécheur cubant 332 litres, et formé d'un cylindre en cuivre de 0m,55 de diamètre, 1m,40 de longueur, 1mm,4 d'épaisseur, terminé par deux plateaux de fonte. La tôle de cuivre, à chacune des deux extrémités du cylindre, était repliée à angle vif sur 0m,03, et la partie repliée était serrée entre le fond en fonte et un anneau de fer, appliqué intérieurement contre le fond au moyen de boulons. Appareil non timbré, non pourvu de soupape, alimenté par un générateur dont les soupapes étaient réglées pour 6 kg., et sans échappement à l'air libre (il y avait seulement communication avec un récipient formant purgeur automatique).	Déchirure, à l'un des bouts du cylindre, suivant l'angle vif de la tôle de cuivre.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Faiblesse de l'appareil eu égard aux pressions qu'il était appelé à supporter : pour des pressions de cet ordre, l'assemblage des fonds en fonte avec le cylindre de cuivre était vicieux; en raison combinée de l'angle vif et du peu d'épaisseur de la tôle, la déchirure survenue s'explique aisément dans les conditions de fonctionnement où l'appareil était placé.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
28 sept.	Papeterie, à Bousbecque (Nord).	Tambour sécheur en fonte, cubant 8 m. c., mesurant 2m,50 de diamètre et 1m,80 de longueur, composé d'une calandre de 22 à 24 millim. d'épaisseur, et de deux fonds plats de 35 millim. d'épaisseur, raidis par des nervures. Chaque fond était assemblé avec la calandre par des boulons prisonniers dans une surépaisseur ou saillie circulaire de la calandre, formant portée plane. Les deux fonds étaient entretoisés entre eux par six fers plats. Timbre, 2 kg. Construction, 1892. La vapeur, venant d'une batterie de chaudières timbrées à 6 kg., traversait deux détendeurs; une soupape était interposée entre le second détendeur et le récipient. Les appareils purgeurs d'eau condensée présentaient des dispositions extrêmement défectueuses.	Détachement d'un des fonds par suite de rupture circulaire dans la fonte de la calandre, dans un plan parallèle au plateau, à 0m,19 de l'extrémité. La cassure était fraîche. Le plateau détaché était fracturé en plusieurs morceaux, ce qui peut avoir été la conséquence d'un choc consécutif à l'explosion.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Les circonstances de l'explosion n'ont pu être déterminées avec une entière certitude. Le diamètre énorme de l'appareil, eu égard à son mode général de construction, et certains détails de cette construction, prêtaient à un accident de ce genre.
30 sept.	Tramways électriques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière De Naeyer, comportant 10 rangées de 8 tubes bouilleurs. A chacune des extrémités, les tubes sont reliés deux par deux au moyen de boîtes de fermeture, avec interposition d'un manchon biconique entre chaque about de tube et l'ouverture correspondante de la boîte. Les boîtes sont tenues pressées contre les manchons d'assemblages au moyen de traverses en forme d'ancres, retenues elles-mêmes par des boulons.	Rupture de deux boulons maintenant les boîtes de fermeture de la façade d'arrière. Deux boîtes, que ces boulons tenaient en place, ont été projetées; le jet d'eau et de vapeur a fait sauter deux portes de boîte à fumée, situées dans la région arrière de l'appareil, et a envahi la chaufferie. Il a été constaté que les fibres du métal, dans les boulons rompus, étaient tordues en hélice.	Deux ouvriers brûlés, dont l'un mortellement et l'autre grièvement.	Rupture de deux boulons à étrier, qui ont cédé par suite de fissures développées, dans les tiges de ces boulons, par les efforts de serrage. Cet accident n'aurait pas eu les mêmes conséquences, si le fourneau avait offert au flux d'eau et de vapeur mis en liberté son dégagement le plus facile dans une direction inoffensive, au lieu de lui donner issue par les portes d'arrière, qui ont été arrachées de leurs gonds et projetées.

1er oct.	Station centrale d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville. L'installation comprend quatre générateurs, alimentés par deux petits-chevaux qui peuvent servir de rechange l'un à l'autre.	Déchirure d'un tube de coup de feu, sur 0m,40 de longueur, avec bâillement de 0m,16. L'avarie, située dans la partie du tube la plus éloignée de la porte du foyer, n'a produit aucun effet extérieur important. Le tube était légèrement gonflé. Les segments de piston à eau des petits-chevaux alimentaires étaient en mauvais état.	Néant.	Manque d'eau consécutif au mauvais fonctionnement des petits-chevaux alimentaires.
7 oct.	Sucrerie, au Transloy (Pas-de-Calais).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs; diamètre des bouilleurs, 0m,75. Capacité de l'appareil, 33 m. c. Timbre, 6 kg. Les appareils indicateurs étaient un tube de verre et un flotteur magnétique. Cette chaudière faisait partie d'une batterie de sept générateurs, alimentés au moyen d'une même conduite distributrice; l'alimentation se faisait d'une manière continue et simultanée aux diverses chaudières en service.	Ouverture en grand de la tôle de coup de feu du bouilleur de droite, par déchirure en pleine tôle. Cette tôle avait la coloration caractéristique de la surchauffe, et s'était emboutie avant rupture. Points d'effets dynamiques notables.	Trois ouvriers brûlés légèrement. Dégâts matériels insignifiants.	L'explosion paraît avoir été la conséquence d'une surchauffe consécutive à un défaut d'alimentation.
11 nov.	Tissage de toile, à Lille (Nord).	Tambour d'encolleuse, cubant 2mc,5, fait d'un cylindre en cuivre de 1m,50 de diamètre, 1m,42 de longueur, 2mm,7 à 2mm,8 d'épaisseur, assemblé à ses extrémités avec deux plateaux en fer qui étaient en outre reliés l'un à l'autre par 12 tirants boulonnés. L'assemblage comportait un pli de la tôle de cuivre sous angle vif. Ce tambour et un autre de moindre diamètre, timbrés à 1kg,5 et recevant la vapeur de chaudières timbrées à 5 kg., étaient nantis en commun d'une soupape de 25 millim., ayant 3 millim. de levée possible, réglée pour 1kg,5; en outre, chacun d'eux était en relation avec un extracteur d'eau condensée portant une petite soupape réglée pour 3 kg. et ayant 2 millim. de levée possible. L'appareil portait un manomètre.	L'ouvrier conducteur de la machine à encoller s'était absenté en laissant ouvert, par mégarde, le robinet qui amenait la vapeur aux deux tambours. Une demi-heure après son départ, le directeur de l'usine, voyant et entendant un dégagement de vapeur, se rendit sur les lieux, vit la vapeur s'échappant des soupapes de la machine à encoller, et son manomètre marquant 4 kg. Il s'enfuit, et tout aussitôt le plus grand des deux tambours faisait explosion, la tôle de cuivre se rompant suivant les plis d'attache avec les deux fonds, et les déchirures se propageant en pleine tôle.	Néant.	Admission intempestive, dans un récipient laissé sans surveillance, de vapeur à une pression supérieure à celle que comportait le mode de construction de ce récipient.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
6 déc.	Papeterie, à Saint-Junien (Haute-Vienne).	Cylindre sécheur en fonte, de 1 mètre de diamètre et 1m,40 de longueur, composé d'une table cylindrique dont l'épaisseur irrégulière variait de 19 à 12 millim. et se réduisait même sur certains points jusqu'à 3 millim., et de deux plateaux nervurés, assemblés par boulons aux extrémités du cylindre. Ce récipient, timbré à 2 kg., faisait partie d'une machine à papier qui recevait la vapeur d'un générateur, timbré à 8 kg., par l'intermédiaire d'un détendeur, mais sans soupape interposée. Le purgeur d'eau condensée, qui était un appareil à dilatation, ne paraît pas avoir dû être d'une efficacité sûre.	Depuis environ une demi-heure, le papier en élaboration sur la machine ne séchait pas convenablement et le personnel cherchait à remédier à ce défaut. La table cylindrique a fait explosion en se fragmentant en morceaux de 3 à 4 d. q., suivant des cassures fraîches. L'un des plateaux terminaux a été projeté sans fragmentation, l'autre divisé en deux. Les cylindres restés intacts ont été trouvés, lors de l'enquête qui a suivi l'accident, contenant de l'eau sur une hauteur supérieure au tiers du rayon.	Quatre ouvriers blessés, dont un grièvement.	L'explosion s'est produite, dans des conditions qui n'ont pu être déterminées avec une entière certitude, sur un appareil en fonte d'épaisseur irrégulière et dont l'installation laissait à désirer.
11 déc.	Filature de laine, à Glos (Calvados).	Chaudière semi-tubulaire à bouilleurs, de 1mc,269 de capacité, timbrée à 6 kg., renfermant 14 tubes en laiton de 0m,110 de diamètre, dont l'épaisseur primitive paraît avoir été 3 millim. Construction, 1875; dernière épreuve, 1885. Deux des tubes avaient été remplacés, l'un vers 1891, l'autre en 1893, mais les autres dataient de l'origine et n'avaient jamais été sortis.	Rupture de huit tubes à fumée, au voisinage de la plaque tubulaire d'arrière. Il n'y a point d'indication qu'il y ait eu manque d'eau ni excès de pression. Trois des tubes avaient leur extrémité d'arrière brisée en éclats; les fragments retrouvés ont montré des épaisseurs réduites à 1mm,5 et 2 millim. Tous les tubes étaient plus ou moins amincis par usure intérieure, à leur extrémité arrière.	Une ouvrière qui se trouvait en face du fourneau près de la porte de la chaufferie, brûlée mortellement. Deux ouvriers blessés, dont un grièvement.	Usure des tubes à fumée en laiton, de 0m,11 de diamètre, qui avaient servi pendant 18 ans sans que leur épaisseur fût vérifiée.
4 déc.	Distillerie locomobile, à Grésy-sur-Isère (Savoie).	Récipient vertical en cuivre de 1m,25 de hauteur, 0m,60 de diamètre à la base, 0m,65 au sommet, avec couvercle amovible maintenu par des boulons à charnière. Le couvercle, bombé sous une flèche de 0m,03, était fait d'une tôle de cuivre de 2 millim. d'épaisseur, rivée à son pourtour sur une couronne en fonte. Cette couronne était de profil défectueux, et affaiblie notamment par une rainure circulaire, contre-partie d'une nervure portée par la collerette fixe du récipient. Les boulons à charnière, agissant sur des tenons à encoches portés par la couronne, étaient au nombre de quatre seulement. Capacité, 382 litres. Timbre, 1 kg. Appareil éprouvé neuf en septembre 1893 et sorti en octobre des ateliers du constructeur. Ce récipient était monté sur un chariot avec deux autres pareils; une chaudière leur fournissait la vapeur.	Pendant que le système fonctionnait dans des conditions normales, une fuite se déclare au couvercle du récipient. Un ouvrier essaye de resserrer les écrous des deux boulons voisins. Comme il se retirait après avoir constaté que le serrage était complet, la couronne se brise entre ces deux boulons et en un second point, et le couvercle est projeté à 10 mètres de distance.	Un ouvrier brûlé grièvement.	L'explosion a eu pour cause primordiale la construction vicieuse de l'appareil. La couronne périphérique du couvercle, en raison combinée de son mode d'attache, du nombre insuffisant de ses boulons, de sa section et de sa matière, se trouvait placée dans des conditions de résistance particulièrement défectueuses.
20 déc.	Papeterie, à Saint-Victor-de-Cessieu (Isère).	Cylindre sécheur en fonte, de 1m,10 de diamètre et 1m,37 de longueur. Les fonds de 22 à 24 millim. d'épaisseur, étaient renforcés par neuf nervures extérieures et une surépaisseur périphérique. Capacité, 1mc,130. La construction paraît remonter à 1865. Epreuve au timbre de 2 kg., datant d'un peu plus de dix ans. On avait remarqué que l'un des fonds donnait lieu à des suintements quand on fabriquait l'espèce de papier qui exige le plus de chaleur. Un nouveau cylindre sécheur avait été commandé, mais non encore installé.	Rupture d'un des fonds en fonte. Le métal portait des fissures anciennes, dont deux traversaient le fond de part en part, et deux autres atteignaient seulement une partie de son épaisseur. La principale fissure mesurait 0m,63 de développement.	Néant.	Mauvais état manifeste de l'appareil, dont le fond d'arrière était affecté de fissures préexistantes, qui avaient donné lieu à des fuites.
22 déc.	Fabrique de ciment, à Provency, (Yonne).	Chaudière horizontale à retour de flammes, à foyer intérieur et faisceau tubulaire amovibles. Capacité, 1mc,903. Timbre, 8 kg. Le corps de chaudière, de 1m,08 de diamètre, était terminé à l'arrière par un fond bombé, se raccordant par un congé à la partie cylindrique. Ce fond était en tôle de 10mm,5 d'épaisseur, offrant une résistance à la rupture de 31kg,7 et un allongement de 10,66 p. 100 sur une longueur de 100 millim. Construction, 1882. Epreuve décennale, en mai 1892.	Le fond d'arrière s'est déchiré suivant le congé de son pourtour, et a été projeté à 55 mètres de distance; le reste de la chaudière, avec la machine qu'elle supportait, a été lancé en sens inverse à 20 mètres, en faisant brèche successivement dans deux murs. La région basse du raccordement périphérique portait intérieurement une corrosion qui en réduisait l'épaisseur à 4 ou 5 millim.; dans la région supérieure du fond, l'on observait un décollement net des mises de la tôle.	Dégâts matériels seulement.	Mauvais état de la zone périphérique du fond embouti d'arrière, suivant le congé de raccordement de ce fond avec la partie cylindrique. Cette zone présentait notamment à la partie inférieure de la circonférence une corrosion intérieure profonde. Les causes de ce mauvais état n'ont pas été entièrement élucidées, mais vraisemblablement se rattachent à un défaut d'exécution de l'emboutissage.

RÉSUMÉ

RÉPARTITION DES ACCIDENTS

DÉSIGNATION		NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
I. — Par nature d'établissements :				
Mines et annexes	Mines de houille	1	3	1
	Fabrication de briquettes	1	»	1
Usines métallurgiques	Forges	2	5	4
	Fonderie	1	1	»
Industries alimentaires	Sucrerie	1	»	»
	Fabrique de glucose et fécule	1	»	»
	Distilleries	2	»	1
Tissus et vêtements	Filature de laine	1	1	1
	Manufacture de tissus	3	11	4
	Blanchisseries, teintureries, apprêts	4	1	3
Papeterie	Fabriques de pâte à papier	2	1	2
	Fabriques de papier	6	2	3
Bâtiments, entreprises de travaux et diverses	Appareils de transbordement, élévation de matériaux, de l'eau	3	»	9
	Fabriques de ciment	2	»	»
	Scierie	1	1	»
	Eclairage électrique	1	»	»
Chemins de fer et tramways	Locomotives	3	»	4
	Grue à vapeur	1	»	1
	Installation fixe (tramway électrique)	1	1	1
Totaux		37	27	35
II. — Par espèces d'appareils :				
1° Chaudières chauffées en tout ou en partie à l'extérieur :				
Horizontales non tubulaires	à foyer extérieur	7	13	5
	à foyer intérieur	2	1	1
Horizontales plus ou moins tubulaires	à foyer extérieur	6	2	5
	à foyer intérieur	2	1	1
Verticale non tubulaire		1	5	2
A petits éléments		4	1	10
2° Chaudières non chauffées à l'extérieur :				
Horizontales tubulaires	à flamme directe	4	»	5
	à retour de flamme	1	»	»
Verticale tubulaire à flamme directe		1	»	»
3° Annexes des chaudières :				
Réchauffeur		1	3	1
Boite à clapet de retenue		1	»	»
4° Récipients		7	1	5
Totaux		37	27	35

(*) Ayant eu plus de vingt jours d'incapacité de travail. Pour les blessures moins graves, voir le bulletin détaillé, qui mentionne tous les blessés signalés par l'enquête administrative.

III. — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs.

1° Conditions défectueuses d'établissement :

Couvercles de récipient trop faibles	2		
Mauvais assemblage d'un cylindre en cuivre avec des fonds en fonte	1		
Fermetures non autoclaves	1	6	
Disposition vicieuse et étroitesse des communications entre bouilleurs et corps de chaudière	1		
Mauvaise rivure de tôle sur fonte	1		

2° Conditions défectueuses d'entretien :

Corrosions extérieures	2		
Corrosions intérieures	3		
Corrosion et fissuration d'un couvercle de récipient	1	10	
Fissures préexistantes	2		
Vétusté de tubes à fumée	1		
Vétusté d'un chapeau de boîte à clapet d'alimentation	1		

3° Mauvais emploi des appareils :

Manque d'eau	11		
Excès de pression	2		
Excès de pression hydraulique dans un réchauffeur par suite d'obstruction de la communication avec la chaudière	1	16	
Serrages exagérés de boulons (fermetures non autoclaves)	1		
Opération dangereuse faite en vue de rendre étanches des emmanchements de tubes à fumée	1		

4° Causes non précisées :

Tubes à fumée usés, altérés ou faibles	6		
Récipient en fonte d'un diamètre excessif eu égard à son mode de construction	1	9	
Appareil en fonte d'épaisseur irrégulière et dont l'installation laissait à désirer	1		
Vraisemblablement coup de feu par manque d'eau se rattachant à la mauvaise disposition des appareils indicateurs	1		

	41

REMARQUES. — Le nombre total des causes présumées est ainsi égal à 41 pour 37 accidents, parce que, dans 4 cas, l'accident a paru provenir de deux causes, savoir : 1° couvercle de récipient mal constitué et en mauvais état (26 avril); 2° chaudière dont les dispositions étaient vicieuses et dont certaines tôles présentaient des criques (15 mai); 3° mauvaise rivure de tôle sur fonte, et excès de pression (22 juin); 4° fermetures non autoclaves, et serrage exagéré des boulons maintenant ces fermetures (30 septembre).

BULLETIN

ALIMENTATION SUR LES TÔLES DE CHAUDIÈRES CHAUFFÉES AU ROUGE.

M. Lavington E. Fletcher, ingénieur de l'association des propriétaires d'appareils à vapeur de Manchester, a exécuté, il y a quelques années, de belles expériences pour démontrer que l'alimentation sur des tôles chauffées au rouge, loin d'élever la pression d'une manière dangereuse, l'abaissait, au contraire, rapidement (*).

Les essais portaient sur une chaudière du type Lancashire, à deux foyers intérieurs cylindriques; la longueur était de $8^m,500$, le diamètre de $2^m,140$, le diamètre des foyers de 915 millimètres. Les tuyaux d'alimentation étaient disposés pour verser l'eau, divisée en plusieurs filets, droit sur le ciel des foyers, au-dessus des grilles. Nous ne décrirons pas les précautions prises pour préserver le voisinage en cas d'explosion de la chaudière soumise aux expériences, ni les difficultés qu'on rencontra dans les premiers essais, ni les dispositions qui permirent de surmonter ces difficultés.

Les expériences consistaient à abaisser le plan d'eau au-dessous des ciels de foyer, à les laisser s'échauffer jusqu'au rouge, puis à alimenter abondamment. En opérant avec des soupapes calées, cette alimentation produisait au premier instant une certaine élévation de pression, ne dépassant pas 3 kilogrammes par centimètre carré, puis la pression retombait rapidement. En opérant pendant que les soupapes soufflaient, on n'a constaté aucune élévation de la pression, qui, au contraire, s'abaissait

(*) Le compte rendu de ces expériences a été donné dans l'*Engineering* (1891, 1er sem., p. 145, 202, 290, 321 et 476). Il a été traduit par M. Serment et publié à Marseille.

bientôt. Les tôles des ciels s'altéraient profondément pendant les essais et ont dû être plusieurs fois changées, mais aucune cassure circulaire ou longitudinale n'est résultée de l'application subite de l'eau froide.

Les effets minimes constatés par ces expériences seraient encore moindres en pratique, vu la position usuelle des tuyaux d'alimentation.

Doit-on conclure de ces expériences qu'une alimentation abondante est la première précaution à prendre, quand on constate le manque d'eau dans une chaudière? ou bien faut-il se conformer à l'ancienne tradition, et se garder de faire entrer de l'eau dans la chaudière, non plus par crainte d'une vaporisation foudroyante, mais pour ne pas troubler un équilibre peut-être instable des tôles?

L'auteur même des expériences a préparé une réponse à cette question, dans une instruction qu'il a récemment rédigée et qu'a publiée l'*Engineering* du 19 octobre 1894 (p. 536); le paragraphe de cette instruction relatif au manque d'eau dans les chaudières à foyers intérieurs est ainsi conçu :

« Quand on s'aperçoit qu'une chaudière manque d'eau, on doit ouvrir les portes de foyer, fermer les registres, soulager les soupapes de sûreté et mettre la machine en marche si elle est arrêtée, afin de réduire la pression. Si la chaudière communique avec d'autres, on doit fermer les communications. S'il y a lieu de penser que l'eau n'a pas découvert les ciels de foyer, et si ces ciels ne laissent voir aucun symptôme d'affaiblissement, on doit alimenter, puis, ou bien tirer les feux, en commençant par le devant de la grille, ou bien les couvrir de cendres, ou d'autres matières disponibles. Si on pense que les ciels sont à découvert, il faut laisser souffler les soupapes, se retirer et donner l'alarme.

« *Pour soulager les soupapes*, si la construction de la chaudière, ou la nature de l'eau, expose aux entraînements, il faut soulever les soupapes avec précaution.

« *Alimentation* : Les expériences de l'association semblent prouver que la meilleure manœuvre consiste à alimenter, surtout quand l'eau pénètre dans une partie de la chaudière située au delà de l'autel : l'alimentation relève le niveau, en rafraîchissant les tôles et en leur rendant la résistance. Ces expériences ont montré que l'eau froide, projetée sur des ciels de foyer portés au rouge, ne produisait pas, ainsi qu'on le supposait à tort, une brusque élévation de la pression, que les soupapes ne

pouvaient empêcher et que les tôles ne pouvaient supporter; néanmoins, on peut craindre que, pour une tôle très chaude, affaiblie presque au point de céder, la plus légère augmentation de pression ne soit dangereuse. L'alimentation serait tantôt utile, tantôt nuisible, suivant la température des tôles, qu'il est difficile de reconnnaître. Puisque une consigne ne peut s'appliquer à tous les cas, le mieux est de penser à la sûreté du chauffeur et de limiter l'alimentation aux cas où les foyers ne sont pas découverts.

« *Quant à tirer les feux*, on ne doit pas essayer de le faire lorsque le ciel du foyer a commencé à se déformer... (le rapport cite deux exemples de chauffeurs tués pendant qu'ils exécutaient ce travail en pareil cas).

« Quand l'eau n'est plus visible dans le tube de niveau, l'opération comporte toujours quelque risque, parce qu'on ne sait guère jusqu'où la surface de l'eau est descendue et depuis combien de temps le ciel est découvert. Si on est sûr que l'eau vient seulement de cesser d'être visible, on peut jeter le feu avec sécurité. Mais il n'en est plus de même, par exemple, si on a pris un tube vide pour un tube plein d'eau, et si cette illusion a duré quelque temps.

« En outre, un foyer cylindrique uni est, en pareil cas, plus dangereux qu'un foyer raidi par des nervures; les tôles communes offrent moins de garanties que les tôles fines. *Il faut apprécier dans chaque cas les diverses circonstances.*

« Il est fort délicat de tracer une consigne toujours applicable pour le traitement d'une chaudière qui manque d'eau. Celui qui a la charge d'un générateur manque à ses devoirs, s'il néglige l'alimentation, s'il charge les feux sans être sûr que les ciels de foyers sont couverts. S'il a commis cette faute, il est impossible de la réparer sans quelque risque. Une chaudière avec un feu ardent sous un ciel de foyer découvert est un engin dangereux à manier; celui qui a causé le mal doit en subir le danger. Le meilleur avis que puisse donner l'association est donc : *Ne laissez jamais l'eau manquer et surveillez le tube de niveau avec une constante attention.* »

En résumé, malgré le succès de ses expériences, l'association de Manchester ne conseille pas d'alimenter les chaudières dont les tôles ont commencé à souffrir. L'alimentation est recommandée, lorsque l'abaissement du plan d'eau paraît peu considérable, et quand on ne remarque aucun mauvais symptôme : mais, en pareil cas, les chauffeurs ont-ils jamais hésité à recourir

à ce remède? Est-il probable qu'ils aggraveront les conséquences d'une légère négligence de leur part en jetant les feux, ainsi qu'on le leur recommande?

Quant à la question de savoir si l'on doit jeter les feux une fois que le ciel du foyer a commencé à s'affaisser, on comprend l'embarras du rédacteur des instructions : bien qu'il dise que le chauffeur négligent doit supporter les conséquences de ses fautes, il hésite cependant à lui prescrire une manœuvre qui peut être mortelle.

Il est des cas cependant où, quel que soit le danger, l'hésitation n'est pas permise : c'est lorsque l'explosion de la chaudière compromet la sécurité d'autres personnes que les chauffeurs. En mer, il faut jeter les feux, si menaçant que soit l'aspect du foyer, et l'on ne saurait trop admirer l'héroïsme des hommes qui ne reculent pas devant cet effroyable danger.

Ed. Sauvage.

BIBLIOGRAPHIE

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1894 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

CARTAN (E.). — Sur la structure des groupes de transformations finis et continus (thèse). In-4°, 159 p. Paris, Nony et Cie. (8026)

DARBOUX (G.). — Leçons sur la théorie générale des surfaces et les applications géométriques du calcul infinitésimal. Troisième partie : Lignes géodésiques et Courbure géodésique ; Paramètres différentiels ; Déformation des surfaces. In-8°, VIII-512 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 15 fr. (10235)

DUMONT (F.). — Essai d'une théorie élémentaire des surfaces du troisième ordre. In-8°, 80 p. Annecy, imp. Dépollier et Cie. (7382)

FERMAT. — Œuvres de Fermat. Publiées par les soins de MM. *P. Tannery* et *Ch. Henry*, sous les auspices du ministère de l'instruction publique. T. II : Correspondance. In-4°, XII-514 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 22 fr. (6046)

GARREAU (E.). — Affirmation du système de Ptolémée. Le Soleil tourne, la Terre ne tourne pas. In-8°, 8 p. Thouars, Imp. nouvelle. (13288)

HAAG (P.). — Cours de mécanique rationnelle. In-8°, VII-557 p. av. fig. Paris, Ve Dunod et Vicq. (6381)

(*) 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.

KŒNIGS (G.). — Mémoire sur les lignes géodésiques. In-4°, 318 p. avec fig. Paris, Imp. nationale. (Extr. des *Mémoires présentés par divers savants à l'Acad. des sciences.*) (12972)

LELIEUVRE (M.). — Sur les surfaces à génératrices rationnelles. In-4°, 113 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8623)

LUCAS (E.). — Récréations mathématiques. IV : le Calendrier perpétuel ; l'Arithmétique en boules ; l'Arithmétique en bâtons ; les Mérelles au XIIIe siècle ; les Carrés magiques de Fermat ; les Réseaux et les Dominos ; les Régions et les Quatre Couleurs ; la Machine à marcher. In-16, VIII-267 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 7f,50. (8631)

POINCARÉ (H.). — Les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste. T. 2 : Méthodes de MM. Newcomb, Gyldén, Lindstedt et Bohlin. In-8°, VIII-480 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 12 fr. (6161)

SEGUIER (J.-A. DE). — Sur deux formules fondamentales dans la théorie des formes quadratiques et de la multiplication complexe d'après Kronecker (thèse). In-8°, XII-340 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8682)

ZEDD. — Nouvelle méthode de multiplication (calcul mental, système Inaudi). In-4°, 8 p. Toulouse, imp. Lagomme et Duclos. (13550)

2° *Physique et Chimie.*

Annuaire de l'École polytechnique pour l'an 1894. Neuvième partie : Notice sur la corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique et la définition des unités électriques ; par M. *A. Cornu*, professeur à l'École polytechnique. In-8°, 47 p. Limoges et Paris, Charles Lavauzelle. (9214)

BERTHELOT (D.). — De l'allotropie des corps simples. In-8°, 88 p. Paris, Steinheil. (9234)

BRUNOT (C.). — Les Illusions d'optique. In-8°, 8 p. avec fig. Paris, 111, boulevard Saint-Germain. (Extr. de la *Revue scientifique.*) (10896)

CHEVASTELON (R.). — Contribution à l'étude des hydrates de carbone (thèse). In-8°, 84 p. et 3 pl. Bordeaux, F. Gounouilhou. (13212)

Deuxième supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée d'Ad. Wurtz, publié sous la direction de Ch. Friedel, professeur à la Faculté des sciences de Paris. Avec la collaboration de MM. P. Adam, A. Béhal, G. de Bechi, A. Bigot, L.

Bourgeois, L. Bouveault. E. Burcker, C. Chabrié, P.-T. Cleve, Ch. Cloëz, A. Combes, C. Combes, A. Etard, Ad. Fauconnier, H. Gall, A. Gautier, H. Gautier, E. Grimaux, G. Griner, etc., etc. T. II. Fascicule 21. In-8° à 2 col., pages 1 à 80. Paris, Hachette et C^ie^. 2 fr. (6031)

—— —— Fascicule 18. In-8° à 2 col., pages 1361 à 1440. Paris, Hachette et C^ie^. 2 fr. (10915)

Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Fremy, de l'Institut. T. X : Applications de chimie organique ; Analyse des matières alimentaires et Recherche de leurs falsifications ; par MM. *Ch. Girard*, chef du laboratoire municipal, et *A. Dupré*, sous-chef du laboratoire, et leurs collaborateurs. In-8°, 735 p. avec fig. Paris, V^e^ Dunod. 32^f^,50. (6349)

Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du gouvernement français. Comité 19 : Produits chimiques et pharmaceutiques, matériel de la peinture, parfumerie, savonnerie. Rapport de M. *Adrian*, fabricant de produits chimiques, commissaire-rapporteur. In-8°, 72 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes.) (6041)

—— Comité 19 : Produits chimiques et pharmaceutiques, matériel de la peinture, parfumerie, savonnerie. Rapport de M. *Haller*, directeur de l'institut chimique de la Faculté des sciences de Nancy, commissaire-rapporteur. Grand in-8°, 289 p. avec fig. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (8547)

—— Comité 31 : Électricité. Rapport de M. *E. Mascart*, de l'Institut, directeur du Bureau central météorologique, commissaire-rapporteur. In-8°, 51 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce.) (6042)

Fitte (J.). — Étude des combinaisons ammoniées du zinc, du cadmium, du cuivre et de l'argent (thèse). In-8°, 38 p. Montpellier, imp. Boehm. (9774)

Garros (F.). — Étude sur les acides gummiques ; Nouveau sucre en C^5^ « prunose » (thèse). In-8°, 95 p. Paris, G. Carré. (7406)

Gautier (A.). — La Chimie de la cellule vivante. In-16, 176 p. avec fig. Paris, G. Masson ; Gauthier-Villars et fils. 2^f^,50. (7101)

Goguel (H.). — Contribution à l'étude des arséniates et des antimoniates cristallisés préparés par voie humide (thèse). In-8°, 78 p. avec dessins. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (13299)

Imbert (H.). — La Dissociation. In-8°, 139 p. Paris, J.-B. Baillière et fils. (6612)

Klobb (T.). — Combinaison de la pyridine avec les permanganates. In-8°, 2 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^ie^. (12726)

Laffitte (L.). — Note sur la liquéfaction de l'air. In-8°, 5 p. avec fig. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (10100)

Leblond (H.). — Électricité expérimentale et pratique. Cours professé à l'École des officiers torpilleurs. 2^e^ *édition*, t. 1^er^ : Étude générale des phénomènes électriques et des lois qui les régissent. In-8°, VII-285 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^ie^. 6 fr. (6410)

Leduc (A.). — Sur la loi des volumes moléculaires, conférence faite au laboratoire de M. Friedel. In-8°, 20 p. Paris, G. Carré. (9106)

Moreau (B.). — Sur la relation entre le pouvoir rotatoire du camphre et le poids moléculaire de quelques dissolvants (thèse). In-4°, 95 p. Lyon, imp. Gallet. (7199)

Morisot. — Sur la polarisation des électrodes dans l'intérieur de la pile. In-8°, 36 p. avec fig. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (10149)

Moureu (C.). — Les Azols. Conférence faite au laboratoire de M. Friedel. In-8°, 32 p. Paris, G. Carré. (9130)

Perot (A.). — Sur l'existence et la propagation des oscillations électro-magnétiques dans l'air. In-8°, 11 p. avec fig. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (10165)

Poincaré (H.). — Les oscillations électriques. Leçons professées pendant le 1^er^ trimestre 1892-1893, par M. *H. Poincaré*, membre de l'Institut. Rédigées par M. *Ch. Maurain*, agrégé de l'Université. In-8°, 347 p. avec fig. Paris, G. Carré. (6678)

Renard (A.). — Dictionnaire d'analyse des substances organiques industrielles et commerciales. In-8°, VI-438 p. avec fig. Paris, Baudry et C^ie^. (13057)

Schützenberger (P.). — Traité de chimie générale, comprenant les principales applications de la chimie aux sciences biologiques et aux arts industriels. T. VII. In-8°, 740 p. avec fig. Paris, Hachette et C^ie^. 14 fr. (6702)

Silhol (L.). — Contribution à l'étude des condensateurs électriques. In-8°, 32 p. avec fig. Bourg-Saint-Andéol, imp. Charre. (13502)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Acy (E. d'). — Silex taillés sur les deux faces provenant de grottes à ossements. Lettre à M. M. Boule. In-8°, 7 p. Paris, G. Masson. (Extr. de l'*Anthropologie*.) (8695)

Bernard (F.). — Éléments de paléontologie. Deuxième partie. In-8°, p. 529 à 1168 et VIII p. de préface, av. 231 fig. dans le texte. Paris, J.-B. Baillière et fils. (L'ouvrage complet, 20 fr.) (8485)

Bertrand (C.-E.) et B. Renault. — Album photographique des préparations de l'algue du kerosene shale de la Nouvelle-Galles du Sud (Reinschia australis). In-18, 6 p. Lille, imp. Danel. (11896)

Bleicher. — Contribution à l'étude des bryozoaires et des spongiaires de l'oolithe inférieure (bajocien et bathonien) de Meurthe-et-Moselle. In-8°, 14 p. et pl. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^ie^. (8734)

—— Le Minerai de fer de Meurthe-et-Moselle. In-8°, 22 p. et pl. Nancy, imp. Berger-Levrault et C^ie^. (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle de l'Est.*) (8735)

—— Recherches sur la structure et le gisement du minerai de fer pisolitique de diverses provenances françaises et de la Lorraine en particulier. In-8°, 10 p. avec pl. Nancy, Berger-Levrault et C^ie^. (10313)

Brongniart (C.). — Les insectes des temps primaires. In-8°, 8 p. explicative. Paris, 46, rue du Bac. (Extr. du *Naturaliste*.) (8234)

Carrière (G.). — Sur un crâne préhistorique récemment découvert dans une grotte des environs du Fescq (commune d'Arphy, Gard). In-8°, 6 p. Nîmes, imp. Laporte. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'étude des sc. nat. de Nîmes.*) (7341)

Carte géologique détaillée de la France à l'échelle de 1/80.000. Feuilles n^os^ 40 et 56 : Plouguerneau et Ouessant, avec notice. Gravées par Wuhrer. Paris, imp. Erhard frères. (621)

—— Feuille n° 60 : Dinan, avec notice explicative. Paris, imp. Erhard frères. (647)

—— Feuille n° 150 : Thonon. — Feuille n° 160 : Annecy. Gravées par Wuhrer. Paris, imp. Erhard frères. (1087)

—— N° 186 : le Puy. Paris, chromolith. Erhard. (1304)

—— Feuille 27 : Barneville. 6 fr. — Feuille 150 : Thonon. 6 fr. — Feuille 170 *bis* : Annecy. 6 fr. — Feuille 160 *ter* : Vallorcine. 3 fr. Avec notices explicatives. Paris, imp. Erhard frères (1308)

Carte géologique détaillée de la France à l'échelle de 1/80.000. Feuille 123 : Nevers. 6 fr. Avec notice explicative. Paris, imp. Lemercier et C^ie^. (1309)

Carte géologique de la France au 1/320.000. N° 13. Paris, Imp. du ministère des travaux publics. (1303)

Collot (L.). — La Formation du relief dans le département de la Côte-d'Or. In-8°, 23 p. Dijon, imp. Darantière. (Extr. des *Mém. de l'Acad. de Dijon.*) (6803)

Danville (L.). — Le Roman de la science. Hommes et Singes, étude historique, géologique et archéologique. In-18 jésus, 315 p. avec de nombreuses fig. Paris, Savine. 3f,50. (7070)

Fallot (E.). — Contribution à l'étude de l'étage tongrien dans le département de la Gironde. In-8°, 47 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sc. physiques et nat. de Bordeaux.*) (12930)

Galens (G.). — Des cours d'eau souterrains dans la province d'Oran. In-8°, 13 p. Alger, imp. Fontana et C^ie^. (13286)

Gasser (A.). — Notice sur la grotte dite *la Baume-Noire*, à Frétigney (Haute-Saône). In-8°, 16 p. Vesoul, imp. Suchaux. (8564)

Girod (P.) et E. Massénat. — Les stations de l'âge du renne dans les vallées de la Vézère et de la Corrèze. Fascicule 5, p. 21 à 24 et pl. 43 à 58. Paris, J.-B. Baillière et fils. (L'ouvrage sera complet en 10 fascicules av. 100 pl. hors texte.) (11961)

Grossouvre (A. de). — Recherches sur la craie supérieure. Deuxième partie. Paléontologie. Les Ammonites de la craie supérieure. Paris, Baudry et C^e^. In-4°, av. 39 fig. et atlas de 39 pl.

Guéneau (L.). — Études scientifiques sur la Terre. Évolution de la vie à sa surface. Son passé, son présent, son avenir; par *Emmanuel Vauchez*. Compte rendu. In-18, 191 p. Paris, Reinwald et C^ie^. 1 fr. (9990)

—— La Terre : évolution de la vie à sa surface, son passé, son présent, son avenir; par *Emmanuel Vauchez*. Résumé analytique et synthétique. In 4° à 2 col., 51 p. Les Sables-d'Olonne, Roche-Jourdan. (12703)

Harlé (E.). — Restes d'élan et de lion dans une station préhistorique de transition entre le quaternaire et les temps actuels à Saint-Martory (Haute-Garonne). In-8°, 7 p. av. fig. Paris, G. Masson. (Extr. de l'*Anthropologie.*) (11744)

Lacroix (A.). — Étude sur le métamorphisme de contact des roches volcaniques. In-4°, 88 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. des *Mém. présentés par divers savants à l'Acad. des sciences.* (6617)

Manouvrier (L.). — Étude des crânes et ossements humains recueillis dans la sépulture néolithique dite la Cave-aux-Fées, à Brueil (Seine-et-Oise). In-8°, 45 p. Guéret, imp. Amiault. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sc. nat. et archéol. de la Creuse.*) (9847)

Martel (E.-A.). — Les Abîmes, les Eaux souterraines, les Cavernes, les Sources, la Spélæologie. Explorations souterraines effectuées de 1888 à 1893, en France, Belgique, Autriche et Grèce, avec le concours de MM. G. Gaupillat, N.-A. Sidéridès, W. Putick, E. Rupin, Ph. Lalande, R. Pons, L. de Launay, F. Mazaurie, P. Arnal, J. Bourguet, etc. Ouvrage contenant 4 phototypies et 16 plans hors texte, 100 grav. et 200 cartes, plans et coupes. In-4°, VIII-580 p. Paris, Delagrave. (8358)

Meunier (S.). — Les Météorites. In-16, 228 p. Paris, G. Masson; Gauthier-Villars et fils. 3f,50. (12765)

Michel Lévy (A.). — Étude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces au point de vue de la classification des roches. In-8°, 77 p. av. 8 pl. en coul. Paris, Baudry et Cie. (8870)

Montessus de Ballore (F. de). — Effets des tremblements de terre sur les constructions et Moyens d'y remédier. In-8°, 46 p. av. fig. Nancy et Paris, Berger-Levrault et Cie. 1 fr. (Extr. de la *Revue du Génie militaire.*) (8876)

Oppermann (A.). — Note sur les sources rencontrées dans les travaux de percement de la galerie de la mer effectués par la Société de charbonnages des Bouches-du-Rhône. In-8°, 29 p. et pl. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (8378)

Pérot (F.). — Palæoethnologie de l'arrondissement de Moulins (Allier). In-8°, 21 p. Moulins, imp. Auclaire. (Extr. de la *Revue scient. du Bourbonnais et du centre de la France.*) (6154)

Perrier du Carne. — L'Arrondissement de Mantes aux temps préhistoriques. Limons de ruissellement de Rosny et Rolleboise, Ballastière de Flins. In-8°, 137 p. av. 35 grav. et carte. Mantes, imp. Linot. (8659)

Piette (E.). — L'Époque éburnéenne et les Races humaines de la période glyptique. In-8°, 28 p. Saint-Quentin, imp. Poëtte. (7224)

Risler (E.). — Géologie agricole. Première partie du cours d'agriculture comparée fait à l'Institut national agronomique. T. 3. 1er fascicule. In-8°, 232 p. Nancy et Paris, Berger-Levrault et Cie; lib. agricole. 3 fr. (8169)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Borodine (A. de). — Effet utile des machines d'alimentation d'eau des gares de chemins de fer. Traduit et résumé d'une communication de l'auteur à l'Institution of mechanical engineers, par *A. Mallet.* In-8°, 17 p. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (8737)

Buchetti (J.). — Les pompes centrifuges et rotatives : théorie pratique, construction, installation. In-8°, 104 p. av. fig. et 10 pl. Paris, 92, boulevard Saint-Germain. (9007)

Carro (T.). — Moteurs et moyens de transport économiques, applicables à l'agriculture, au canal de Panama et à la défense du pays. In-8°, 36 p. Meaux, Le Blondel. Paris, Desforges. (11275)

Catéchisme des chauffeurs, des machinistes et des apprentis mécaniciens et chauffeurs. Ouvrage publié par l'Association des ingénieurs sortis de l'École de Liège. In-16, 127 p. av. fig. Paris, Tignol. (11516)

Chambon (F.). — Notice sur un système d'aubes à fenêtres et son application à un multiplicateur et totalisateur hydraulique. In-4°, 8 p. et tableau. Paris, Armengaud aîné. 1 fr. (8032)

Clavenad (C.). — Notice sur les chaudières marines au goudron liquide de pétrole. In-8°, 32 p. et pl. Paris, Bernard et Cie. (7348)

Compère (C.). — Expériences sur la condensation des machines à vapeur à différentes températures. In-8°, 12 p. et pl. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (12646)

Costa (J.). — Avantages de la force motrice par le gaz. Moteur Charon. In-8°, 23 p. av. fig. et pl. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (10038)

Cuinat (H.). — Résultats d'essais faits sur un moteur à gaz de 50 chevaux (système Charon). In-8°, 10 p. av. fig. et pl. Paris, Chaix. (Extr. du *Bull. technol. de la Soc. des anciens élèves des Écoles nat. d'arts et métiers.*) (8526)

Delamare-Debouteville (E.). — Des moteurs à gaz et du moteur « simplex ». In-8°, 96 p. av. fig. et pl. Rouen, imp. Cagniard. (9486)

Dibos (M.). — Questionnaire à l'usage des élèves capitaines à bord des bateaux à vapeur, suivi des instructions basées sur

les prescriptions réglementaires concernant la conduite des machines à vapeur pour les élèves mécaniciens, accompagné de l'extrait de la loi du 21 juillet 1856 (contraventions relatives aux bateaux à vapeur et appareils à vapeur placés sur ces bateaux) et du programme officiel des connaissances exigées et des pièces à produire. In-8°, 32 p. av. fig. et pl. en noir et en coul. Paris, imp. Chaix. (11691)

Dwelshauvers-Dery (V.). — Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur. In-16, 184 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (6347)

Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du gouvernement français. Comité 13 : Moteurs et Générateurs; les Ascenseurs américains. Rapport de M. *Léon Edoux*, ingénieur, commissaire-rapporteur. In-8°, 25 p. Paris, Imp. nationale (Ministère du commerce). (12415)

Greil (P.-G.). — La machine à vapeur moderne. In-4°, 16 p. et 3 pl. Biarritz, imp. Lamaignère. (9526)

Jaunez (A.). — Manuel du chauffeur. Guide pratique à l'usage des mécaniciens, chauffeurs et propriétaires de machines à vapeur, exposé des connaissances qui leur sont nécessaires, et suivi de conseils afin d'éviter les explosions des chaudières à vapeur. 5e *édition*. In-18 jésus, 220 p. av. 40 fig. Paris, Hetzel et Cie. 2 fr. (10948)

Lévy (M.) et G. Pavie. — Étude des moyens mécaniques et électriques de traction des bateaux. Compte rendu d'une mission. Première partie : Halage funiculaire. T. 1er. In-4°, 260 p. et 54 pl. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (9111)

Louisse (L.-G.). — Note sur l'application au desséchement des marais de Fos des pompes centrifuges Farcot à grand débit. In-8°, 38 p. et 2 pl. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (9842)

Minel (P.). — Régularisation des moteurs des machines électriques. In-16, 192 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson, 2f,50. (10661)

Ringelmann. — Rapport relatif aux expériences effectuées à la station d'essais de machines agricoles sur les moteurs à pétrole présentés au concours international de Meaux en 1894. In-8°. 4 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Ministère de l'agriculture.*) (12277)

Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893 par MM. *Grille*, ingénieur civil des mines, *H. Falconnet*, ingénieur des arts et manufactures, et *Crépy*, ingénieur. Quatrième partie: La Mécanique générale à l'Exposition de Chicago. In-8°, 298 p. av. fig. et album in-4° de 120 pl. Paris, Bernard et Cie. (13058)

Witz (A.). — Théorie des machines thermiques à vapeur, à air chaud et à gaz tonnants. In-16, 187 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (9202)

—— Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole. T. II. In-8°, 430 p. av. fig. et 4 pl. Paris, Bernard et Cie. 15 fr. (11877)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Arbel (P.). — Rapport sur l'Exposition de Chicago, concernant la métallurgie, les mines, la quincaillerie, l'armurerie, la verrerie et les industries diverses. 1893. In-8°, 100 p. Saint-Étienne, imp. Théolier et Cie. (8212)

Baclé (L.). — Les plaques de blindage en métal cémenté. Essais pratiqués en France et à l'étranger de 1892 à 1894. In-8°, 26 p. av. tableaux. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (9989)

Billy (E. de). — Fabrication de la fonte. In-16, 212 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (9998)

Bouant (E.). — La Galvanoplastie; le Nickelage; l'Argenture; la Dorure; l'Électro-Métallurgie et les applications chimiques de l'électrolyse. In-18 jésus, 384 p. av. 52 fig. dans le texte. Paris, J.-B. Baillière et fils. (8492)

Dubs (H.). — Note sur les moteurs à courants alternatifs. In-8°, 10 p. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. de Marseille.*) (7084)

Étude sur le soudage des fers et des aciers. Les plaques à souder J. Laffitte. In-4°, 31 p. av. fig. Paris, imp. Rousset. (9765)

Howe (H.-M.). — La métallurgie de l'acier. Traduit par *O. Hock*, ingénieur de l'École de Liège. Gr. in-4° à 2 col., xix-479 p. av. fig. Paris, Baudry et Cie. (9794)

Lebiez (L.). — L'électricien amateur. Manuel de travaux pratiques. In-18 jésus, ii-224 p. av. 129 fig. Paris, Grelot, 4 fr. (8614)

Leblond (H.). — Cours élémentaire d'électricité pratique. In-8°, vi-449 p. av. fig. Nancy et Paris, Berger-Levrault et Cie. (7462)

LEDEBUR. — Les alliages métalliques, leurs emplois dans l'industrie. Manuel à l'usage de l'industrie métallurgique. Traduit de l'allemand par *Th. Seeligmann*, chimiste industriel. In-18 jésus, VIII-222 p. Paris, Fritsch. (8109)

LEJEAL (A.). — L'Aluminium, le Manganèse, le Baryum, le Strontium, le Calcium et le Magnésium. Introduction par M. *U. Le Verrier*, ingénieur en chef au corps des mines. In-18, 357 p. av. 37 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (6412)

LE VERRIER (U.). — La métallurgie en France. In-18 jésus, XI-334 p. av. 66 fig. intercalées dans le texte. Paris, J.-B. Baillière et fils. 3f,50. (9573)

MINEL (P.). — Électricité appliquée à la marine. In-16, 204 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (6444)

NANSOUTY (M. DE). — Les Canons, les Obus, les Plaques en acier spécial de la Compagnie des hauts-fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer, à Saint-Chamond, à l'Exposition de Lyon (exposition collective de la métallurgie de la Loire). In-8°, 18 p. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil*.) (9864)

Revue technique de l'Exposition de Chicago en 1893; par M. *Grille*, ingénieur civil des mines, et M. *H. Falconnet*, ingénieur des arts et manufactures. Troisième partie : Électricité industrielle (collaborateurs : MM. Desforges, Rejou, Bloxham, Bouquet, ingénieurs-électriciens). In-8°, 254 p. et atlas in-4° de 78 pl. Paris, Bernard et Cie. (11833)

TAINTURIER (C.). — Manuel d'électricité industrielle. In-18 jésus, x-300 p. av. 215 fig. dans le texte. Paris, Fritsch. (11858)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

BIDOU (L.). — Le soufre : ses gisements et son exploitation en Italie. In-8°, 23 p. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil*.) (6999)

Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du gouvernement français. Comité 12 : Mines; Exploitation des mines et Métallurgie; Minerais de soufre. Rapport par M. *Pierre Arbel*, maître de forges, commissaire-rapporteur. In-8°, 112 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce). (9766)

HAUPT (O.). — La mine de Huanchaca et l'avenir de l'argent. In-8°, 16 p. Paris, Leroy. (11967)

HUBERT (P.). — Enrichissement des phosphates de chaux naturels pauvres (système de M. Henoch, conseiller intime des mines à Gotha, Allemagne). In-4°, 20 p. av. fig. Paris, Chaix. 1 fr. (7443)

LINKENBACH (C.). — Traité pratique de la préparation des minerais. Manuel à l'usage des praticiens et des ingénieurs des mines. Traduit de l'allemand par *H. Coutrot*, ingénieur civil des mines. Gr. in-8°, XIV-160 p. av. 24 pl. lithographiées. Paris, Baudry et Cie. (12224)

MOREAU (G.). — Étude industrielle des gîtes métallifères. In-8°, XIV-443 p. av. 89 fig. dans le texte. Paris, Baudry et Cie. (6930)

MORGAN (J. DE), U. BOURIANT et LEGRAIN. — Note sur les carrières antiques de Ptolémaïs (Menchiyèh). In-4°, 20 p. av. gr. Paris, Leroux. (Extr. des *Mém. de la Mission française au Caire.*) (11561)

POLLAK (F.). — Les mines d'or du Transvaal Robinson et Langlaagte Estate, leur situation actuelle, leur avenir. In-8°, 45 p. Paris, Leroy. (11409)

VILLARS (E. DE). — Statistique générale des richesses minérales et métallurgiques de la France et des principaux États de l'Europe. Consistance des principales mines et usines (1894). In-4°, 259 p. Paris, Ve Dunod et Vicq. (11870)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

BRICKA (C.). — Cours de chemins de fer, professé à l'École nationale des ponts et chaussées. T. 2 et dernier : Matériel roulant et Traction; Exploitation technique; Tarifs; Dépenses de construction et d'exploitation; Régime des concessions; Chemins de fer de systèmes divers. In-8°, 712 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (L'ouvrage complet en 2 vol., 40 fr.) (11905)

CARPENTIER (A.) et G. MAURY. — Traité des chemins de fer. 3 vol. In-8°. T. I, LXII-636 p.; t. II, 551 p.; t. III, 811 p. Paris, Larose. (Les trois volumes, 30 fr.). (10904)

CHALON (E.). — Études sur les chemins de fer. Notice sur le Railway's Clearing House. In-8°, 19 p. Pont-Sainte-Maxence, Petit. (13210)

Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction. Première session. T. I : Documents généraux. In-4°, 367 p. av. fig. Paris, Rothschild. (Ministère des travaux publics.) (11075)

CORNU (L.). — Guide pratique pour l'étude et l'exécution des

constructions en fer, à l'usage des architectes, ingénieurs, conducteurs de travaux, élèves des écoles, etc. 3e *édition*, revue et augmentée. In-8°, VII-276 p. et atlas in-4° oblong de 30 pl. Paris, P. Dupont. 15 fr. (10037)

DARESTE (E.). — Tracés des chemins de fer. Méthode pour mener une normale à une courbe de raccordement. In-8°, 3 p. av. fig. Paris, imp. Chaix. (11931)

FARGUE. — Instruction sur l'emploi des gabarits de courbure. In-plano plié en grand in-8°, av. fig. Paris, imp. Gauthier-Villars et fils. (6044)

HAAG (P.). — Étude sur la transformation des grandes gares allemandes. In-8°, 54 p. et 4 pl. Paris, 10, cité Rougement. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (6382)

—— L'exploitation du Métropolitain de Berlin et l'Exposition de 1900. In-8°, 16 p. et pl. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. du même recueil.) (11743)

HAUSSER (A.-E.) et L. CUNQ. — Poutres droites. Moments fléchissants sur les appuis et flèches au milieu des travées. Formules et tables. In-8°, VII-134 p. av. fig. Paris, Ve Dunod et Vicq. (11745)

HENRY (E.). — Ponts sous rails et Ponts-routes à travées métalliques indépendantes : formules, barèmes et tableaux. (Calculs rapides des moments fléchissants et efforts tranchants pour les ponts supportant des voies ferrées de largeur normale, des voies de 1 mètre, des routes et chemins vicinaux.) In-8°, VIII-631 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (9094)

LAUDET (F.). — Chemin de fer d'intérêt local à voie étroite. Résumé de la question. In-8°, 15 p. Tarbes, imp. Croharé. (11982)

LIÉVIN (F.) et H. HEUDE. — Tramway à vapeur à voie de 0m,60 de Pithiviers à Toury. I, Description du tracé, du matériel fixe et du matériel roulant. Détail des dépenses; par *F. Liévin*, ingénieur des ponts et chaussées; II. Examen critique des résultats obtenus; par *H. Heude*, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 53 p. Paris, Baudry et Cie. (6099)

MALLET (A.). — Locomotives à adhérence totale pour courbes de petit rayon. In-8°, 52 p. et 3 pl. Paris, Baudry et Cie. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (8121)

MAMY (H.). — Le viaduc du Malleco, au Chili, construit par MM. Schneider et Cie, au Creusot. In-8°, 26 p. av. fig. Paris, imp. Chaix. (Extr. du *Génie civil.*) (11994)

MARCHENA (E. DE). — La traction mécanique des tramways. In-8°, 140 p. av. fig. Paris, Bernard et Cie. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (11998)

—— La traction mécanique des tramways. Supplément. In-8°, 47 p. Paris, Bernard et Cie. (12997)

MAUREL (C.). — Note sur les déformations des voûtes surbaissées. In-8°, 38 p. Paris, Baudry et Cie. (Extr. des *Nouvelles Annales de la construction.*) (12478)

PALAA (J.-G.). — Dictionnaire législatif et réglementaire des chemins de fer. Résumé des documents officiels en vigueur et des principaux renseignements pratiques sur l'établissement, l'entretien, la police et l'exploitation des voies ferrées; Personnel, Exploitation technique, Matériel, Voie, Service commercial. Supplément général de la 3e édition. In-8°, VII-313 p. Paris, Marchal et Billard. 10 fr. (7484)

Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893, par MM. *Grille*, ingénieur civil des mines, et *H. Falconnet*, ingénieur des arts et manufactures. Neuvième partie: les Chemins de fer à l'Exposition de Chicago. 1er volume : les Locomotives, par M. *Grille*. In-8°, 152 p. avec fig., planches et album in-4° de 95 planches. Paris, Bernard et Cie. (13059)

SAUVAGE (E.). — La Machine locomotive. Manuel pratique donnant la description des organes et du fonctionnement de la locomotive, à l'usage des mécaniciens et des chauffeurs. Gr. in-16, 374 p. avec figures. Paris, Baudry et Cie. (8421)

SEGUELA (R.). — Matériel roulant pour les lignes de chemins de fer à voie d'un mètre. In-8°, 13 p. Paris, Baudry et Cie. (Extr. du *Portefeuille économique des machines.*) (6703)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1892. Documents divers. Première partie : France (intérêt général). In-8°, VIII-326 p. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (9183)

—— —— Deuxième partie : France (intérêt général); Algérie et Tunisie. In-4°, VI-260 p. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (10462)

VIGREUX (L.). — Théorie et Pratique de l'art de l'ingénieur, du constructeur de machines et de l'entrepreneur de travaux publics. Livraisons 57, 58, 59 : Étude et Tracé des principaux appareils de distribution et de détente des machines à vapeur. In-8°; 108 p. Paris. Bernard et Cie. 12 fr. (12072)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Bonnard (E.). — Organisation légale du travail et Établissement de la retraite ouvrière. In-4°, 1 p. Paris, impr. Bonnard. (11655)

Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du gouvernement français. Comité 37 : Économie sociale. Rapport de M. *É.-O Lami*, publiciste, commissaire-rapporteur. In-8°, 165 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (10581)

Feldmann (A.). — De la garantie d'intérêt due par l'État aux compagnies de chemins de fer. In-8°, 59 p. Paris, Larose. (8551)

Fleury (P.). — Les Garanties d'intérêt à verser par l'État aux Compagnies de chemins de fer. In-18, 36 p. Argenteuil, imp. Robert et Cie. 50 cent. (13278)

Grenthe (L.). — Questions sociales. Prévoyance et Mutualité. Essai d'un projet de solutions pratiques pour obtenir la généralisation et l'application de moyens de prévoyance et de mutualité contre les maladies, les accidents professionnels et la vieillesse des ouvriers du travail manuel. In-18 jésus, III-160 p. Pontoise, impr. L. Paris. 1f,50. (11354)

Guyot (Y.). — La Réglementation officielle du travail, discours de M. *Yves Guyot* au congrès d'Anvers. In-18, 36 p. Paris, Guillaumin. 25 cent. (Extr. du journal *le Siècle*.) (8579)

Loi du 29 juin 1894 sur les caisses de retraites et de secours des ouvriers mineurs. Publiée avec un avant-propos, par *Marius Olive*, conseiller général. In-18 jésus, 26 p. Marseille, impr. Doucet. (10118)

Loi du 29 juin 1894 sur les caisses de secours et de retraites des ouvriers mineurs. Circulaire du 30 juin 1894 du ministre des travaux publics relative à l'application de la loi. In-8°, 18 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. 40 cent. (12460)

Office du travail. Étude sur les derniers résultats des assurances sociales en Allemagne et en Autriche. Première partie : Accidents. In-8°, 180 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (12781)

Martin (E.). — De la conciliation et de l'arbitrage professionnels, discours prononcé à l'audience solennelle de rentrée de la cour d'appel de Besançon, le 16 octobre 1894. In-8°, 46 p. Besançon, impr. Millot frères et Cie. (13374)

Protat (E.). — Litiges et Réclamations en matière de transports par chemins de fer. Commentaire pratique de la loi du 11 avril 1888 modifiant les articles 105 et 108 du Code de commerce. In-8°, 96 p. Paris, Chaix. (13048)

Rochetin (E.). — La caisse nationale de prévoyance ouvrière et l'intervention de l'État. Historique, Définition et Avantages du principe mutuel; Critique du projet de la commission du travail (rapport de M. Guieysse) et Exposé d'un projet nouveau sans charges pour le budget. In-18 jésus, VIII-244 p. Paris, Guillaumin et Cie. 3f,50. (6178)

9° *Objets divers.*

Appert (L.) et J. Henrivaux. — Verre et Verrerie. Historique; Classification; Composition; Action des agents physiques et chimiques; Produits réfractaires; Fours de verrerie; Combustibles; Verres ordinaires; Glaces et produits spéciaux; Verres de Bohême; Cristal; Verres d'optique; Phares; Strass; Émail; Verres colorés; Mosaïque; Vitraux; Verres durs; Verres malléables; Verres durcis par la trempe; Etude théorique et pratique des défauts du verre. In-8°, 464 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (12342)

Bonneau La Varanne. — Les Ballons militaires (étude historique, théorique et technique). Direction des ballons. In-8°, 40 p. Paris, impr. May et Motteroz. (9446)

Burke (J.). — La tourbe mousseuse; son emploi industriel et commercial. In-8°, 32 p. Paris, impr. Morin. (12138)

Dronier (P.) — La Navigation aérienne. Projet d'une ligne transatlantique aérienne exécutable de suite. Précédé d'une préface par M. *Girard*, chimiste à Paris. In-8°, 64 p. Paris, les principaux libraires; l'auteur. 1 fr. (9494)

Dubiau (P.). — Filtration des eaux industrielles. In-8°, 15 p. et 6 pl. Marseille, impr. Barthelet et Cie. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (12913)

Ducloux. — La Solution de la question sociale. Conférence sur les engrais chimiques. In-8°, 16 p. Montpellier, impr. Hamelin frères. (Extr. des *Annales de la Soc. d'horticulture et d'hist. nat. de l'Hérault.*) (13258)

Hilgard (E.-W.). — De l'influence du climat sur la formation et la composition des sols, suivi d'un chapitre spécial sur les terrains alcalins. Traduction de M. *J. Vilbouchevitch*. In-8°, 128 p. Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie. (6610)

Jacquot (E.) et Willm. — Les Eaux minérales de la France.

Études chimiques et géologiques entreprises conformément au vœu émis par l'Académie de médecine, sous les auspices du comité consultatif d'hygiène publique de France. In-8°, x-604 p. Paris, Baudry et C^ie^. (9547)

Livre du centenaire de l'École polytechnique (1794-1894). T. II : Services militaires. Gr. in-8°, 573 p. et portraits. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8628)

PICARD (A.). — Traité des eaux (droit et administration). T. IV. Première partie : Irrigations; Desséchements; Alimentation des communes; Assainissement des villes. Avec le concours de M. *C. Colson*, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, VI-583 p. Paris, Rothschild. (6468)

Revue technique de l'Exposition universelle de 1889; par un comité d'ingénieurs, de professeurs, d'architectes et de constructeurs. Organe officiel du congrès international de mécanique appliquée, tenue à Paris du 16 au 21 septembre 1889. 16 vol. in-8° avec fig. et 5 albums de pl. in-4°. Première partie : Architecture, XX-179 p.; deuxième partie : les Constructions, 462 p.; troisième partie : les Travaux publics, 226 p.; quatrième partie (t. I) : Mines et Métallurgie, 371 p.; quatrième partie (t. II) : Mines et Métallurgie, 288 p.; cinquième partie, Chemins de fer, 468 p.; sixième partie (t. I) : Chaudières à vapeur, 552 p.; sixième partie (t. II) : Machines thermiques: 478 p.; septième partie (t. I) : Hydraulique, 552 p.; septième partie (t. II) : les Machines-outils, 800 p.; huitième partie : Électricité, 330 p.; neuvième partie : Marine et Arts industriels, 460 p.; dixième partie : Arts industriels, 544 p.; onzième partie (t. I) : Industries chimiques, 587 p.; onzième partie (t. II) : Industries chimiques, 434 p.; douzième partie : Génie rural et divers, 180 p. Paris. Bernard et C^ie^. (6173)

RICHE (A.) et G. HALPHEN. — Nouvelles recherches sur les pétroles. In-8°, 16 p. avec fig. Paris, impr. Flammarion. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie.*) (12276)

SÉBILLOT (P.). — Les Travaux publics et les Mines dans les traditions et les superstitions de tous les pays. Les Routes, les Ponts, les Chemins de fer, les Digues, les Canaux, l'Hydraulique, les Ports, les Phares, les Mines et les Mineurs. In-8°, XVI-623 p. avec 428 illustrations dont 3 en couleur et 8 planches. Paris, Rothschild. (10721)

VILLE (G.). — L'Analyse de la terre par les plantes. In-4°, 76 p. avec grav. Paris, imp. nationale. (Extr. du *Volume commémoratif du centenaire de la fondation du Muséum d'hist. nat.*) (9199)

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BLOFELD (S.). — Aids to Euclid. Book 2. In-8°, 12 p. Birmingham, Midland Educational Co. Simpkin. 0^f^,65.

BRIGGS (W.) and BRYAN (C.-H.). — A Text-Book of Dynamics. In-8°, 192 p. Clive. 2^f^,50.

—— A Text-Book of Statics. In-8°, VIII-220 p. Clive. 1^f^,90.

CAYLEY (A.). — Collected Mathematical Papers. Vol. 7. In-4°. Cambridge Warehouse. 31^f^,25.

DIXON (A.-C.). — The Elementary Properties of the Elliptic Functions. With Examples. In-8°, 140 p. Macmillan. 6^f^,25.

HANCOCK (H.). — A Text-Book of Mechanics and Hydrostatics. With nearly 500 Diagrams. In-8°, 368 p. Low. 6^f^,25.

LARKIN (H.). — Elliptical Orbits : Their Distinctive Mechanical Characteristics and their Possible Origin. With Original Illusts. In-8°, 16 p. T. Fisher Unwin. 1^f^,25.

PARKER (J.). — Thermo-Dynamics : Treated with Elementary Mathematics, and containing Applications to Animal and Vegetable Life, Tidal Friction and Electricity. In-8°, 314 p. Low, 13^f^,15.

SCOTT (G.-A.). — An Introductory Account of Certain Modern Ideas and Methods in Plane Analytical Geometry. In-8°, Macmillan. 12^f^,50.

SMITH (C.). — Geometrical Conics. In-8°, 256 p. Londres. 9 fr.

SMITH (H.-J.-S.). — The Collected Mathematical Papers. Edit. by J.-W. Glaisher. 2 vols. In-4°. Clarendon Press. 78^f^,75.

TAYLOR (J.-E.). — Theoretical Mechanics : Solids. In-8°, 248 p Longmans. 3^f^,15.

—— —— Fluids. In-8°, 230 p. Longmans. 3^f^,15.

THORNTON (A.). — Theoretical Mechanics : Solids, Including Kinematics, Statics and Kinetics. In-8°, 422 p. Longmans. 5^f^,65.

WYATT (M.). — An Introduction to the Differential and Integral Calculus. In-8°, 98 p. Rugby, Over. Whittaker. 4^f^,40.

ZIWET (A.). — An Elementary Treatise on Theoretical Mechanics. Part 3 : Kinetics. In-8°. Macmillan. 10^f^,65.

2° *Physique et Chimie.*

Bernthsen (A.). — A Text-Book of Organic Chemistry. Trans. by George M'Gowan. 2nd English ed., Revised and Extended by Author and Translator. In-8°, 598 p. Blackie. 9f,40.

Crookes (W.). — Select Methods in Chemical Analysis (chiefly Inorganic). 3rd ed. In-8°. Longmans. 26f,25.

Cumming (L.). — An introduction to the Study of Electricity. With numerous Examples. 4th Edition, with Corrections and Additions. In-8°, 360 p. Macmillan. 10f,65.

Davy (H.). — On the Decomposition of the Alkalies and Alkaline Earths. Papers Published in the Philosophical Transactions, 1807-1808. In-8°, 52 p. Edinburgh, W.-F. Clay. Simpkin. 1f,90.

—— On the Elementary Nature of Chlorine. Papers Published in the Philosophical Transactions, 1809-1818. In-8°, 78 p. Edinburgh, W.-F. Clay. Simpkin. 2f,50.

Discovery of Oxygen. Part 1 : Experiments by *Priestley*, 1775 Part 2 : Experiments by *C.-W. Scheele*, 1777. In-8°. Edinburgh, W.-F. Clay. Simpkin. 1f,90.

Hopkins (W.-J.). — Preparatory Physics : A Short Course in the Laboratory. In-8°. Longmans, 6f,25.

Hovenden (F.). — What is Heat? A Peep into Nature's most Hidden Secrets. In-8°, 348 p. Whittingham. 18f,75.

Kelvin (Lord). — The Molecular Tactics of a Crystal. In-8°. Clarendon Press. 4f,40.

Lehfeldt (R.-A.). — List of the Chief Memoirs on the Physics of Matter. In-8°, 40 p. Taylor and F. 3f,15.

Lodge (O.). — The Work of Hertz and Some of his Successors. In-8°. Electrician Office. 3f,15.

Newth (G.-S.). — A Text-Book of Inorganic Chemistry. In-8°, 660 p. Longmans. 8f,15.

Nichols (E.-L.). — A Laboratory Manual of Physics and Applied Electricity. 2 vols. Vol. II. In-8°. Macmillan. 15f,65.

Noad (H.-M.). — The Student's Text-Book of Electricity. With an Introduction and Additional Chapters by *W.-H. Preece*. With 471 Illusts. In-8°, 620 p. Crosby Lockwood and Son. 11f,25.

Notes on Reactions of Salts, and Scheme for the Examination of a Solution of a Single Salt. In-8°, 48 p. Edinburgh, Thin. Simpkin. 1f,25.

Ostwald (W.). — Manual of Physico-Chemical Measurements. Trans. by J. Walker. In-8°, 262 p. Macmillan. 8f,75.

Perkin (W.-H.) and Kipping (F.-S.). — Organic Chemistry. Part. 1. In-8°, 302 p. Chambers. 4f,40.

—— —— Part 2. In-8°, 262 p. Chambers. 4f,40.

Price (W.-A.). — A Treatise on the Measurement of Electrical Resistance. In-8°, 215 p. Clarendon Press. 17f,50.

Priestley (J.). — The Discovery of Oxygen. Part 1. In-8°, 55 p. Edinburgh, Clay. Simpkin. 1f,90.

Rayleigh (Baron). — The Theory of Sound. 2nd ed., Revised and Enlarged. 2 vols. Vol. I. In-8°, 490 p. Macmillan. 15 fr.

Roscoe (Sir H.-E.) and Schorlemmer. — A Treatise on Chemistry. Vol. I : Non-Metallic Elements. New ed. Completely Revised by Sir *H.-E. Roscoe*. Assisted by *H.-C. Coleman* and *A. Harden*. With 374 Illusts. and a Portrait of Dalton. In-8°, 886 p. Macmillan. 26f,25.

Schorlemmer (C.). — The Rise and Development of Organic Chemistry. Revised and Edited by *A. Smithells*. In-8°, 284 p. Macmillan. 6f,25.

Stainer (W.-J.). — Synopsis of Advanced Chemistry. In-8°, 74 p. Hughes. 1f,99.

Stewart (R.-W.). — Text-Book of Magnetism and Electricity. 2nd. ed. Clive. 6f,90.

Turpin (G.-S.) — Lessons in Organic Chemistry. Part 1 : Elementary. In-12, 136 p. Macmillan. 3f,15.

Walmsley (R.-M.). — The Electric Current : How Produced and How Used. With 379 Illust. In-8°, 762 p. Cassell. 13f,15.

Watts. — Dictionary of Chemistry. Revised and Entirely Rewritten by *M.-M. Pattison Muir* and *H. Foster Morley*. 4 vols. Vol. IV, with Addenda. In-8°, 930 p. Longmans. 78f,75.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Geikie (J.). — The Great Ice Age, and its Relation to the Antiquity of Man. 3rd ed., largely Re-written. With Maps and Illusts. In-8°, 868 p. Stanford. 31f,25.

Memoirs of the Geological Survey of the United Kingdom. The Jurassic Rocks of Britain. Vol. IV : The Lower Oolitic Rocks of England (Yorkshire excepted). By *Horace-B. Woodward*. 12f,50.

Ramsay (Sir A.-C.). — Physical Geology and Geography of Great Britain. 6th ed. Edited by *Horace-B. Woodward*. In-8°, 432 p. Stanford, 13f,15.

Small (E.-W.). — The Earth : An Introduction to the Study of

Inorganic Nature. With 71 Illusts. In-8°, VI-220 p. Methuen. 3f,15.

SOLLY (R.-H.). — An elementary Introduction to Mineralogy. Londres. In-8°, 376 p. 22f,50.

WILLEY (A.). — *Amphioxus* and the Ancestry of the Vertebrates. Londres. In-8°. 15f,65.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

BARBER (T.-W.). — The Repair and Maintenance of Machinery : A Handbook of Practical Notes and Memoranda for Engineers and Machinery Users. With about 400 Illusts. In-8°, 452 p. Spons. 13f,15.

BURN (R.-S). — The Steam Engine : Its History and Mechanism. 8th and Enlarged ed. With 132 Illusts. In-8°, 180 p. Ward, Lock and Bowden. 3f,15.

JAMIESON (A.). — A Text-Book of Steam and Steam Engines. 10th ed. With numerous Diagrams, Folding Plates and Examination Questions. In-8°, 470 p. C. Griffin and C°. 10f,65.

MUNRO (R.-D.). — Kitchen Boiler Explosions. Why They Occur, and How to Prevent their Occurrence : A Short Treatise, Giving the Results of Practical Experiments with Red-hot Boilers. With Frontispiece in Colours and Explanatory Diagrams. In-8°, 56 p. C. Griffin and C°. 3f,75.

RANKINE (W.-J.-M.). — Manual of Applied Mechanics. 14th ed. thoroughly Revised by W.-J. Millar. In-8°, 686 p. C. Griffin and C°. 15f,65.

TEMPLETON (W.). — The Practical Mechanic's Workshop Companion. 17th ed., Revised, Modernised and Considerably Enlarged by *Walter S. Hutton*. In-18, 480 p. Crosby Lockwood and Son. 7f,50.

UNWIN (W.-C.). — On the Development and Transmission of Power from Central Stations. In-8°. Longmans. 12f,50.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

BLOXAM (C.-L.). — Metals : Their Properties and Treatment. Partly Re-written and Augmented by Alfred K. Huntingdon. New ed. In-12, 442 p. Longmans. 6f,25.

FLEMING (J.-A.). — Electric Lamps and Electric Lighting : A Course of Four Lectures on Electric Illumination, Delivered at the Royal Institution of Great Britain. In-8°, 212 p. Electrician Office. 9f,40.

GIBBINGS (A.-H.). — Dynamo Attendants and their Dynamos : A Practical Book for Practical Men. In-8°, 61 p. Rentell. 1f,25.

GUY (A.-F.). — Electric Light and Power : Giving the Results of Practical Experience in Central Station Work. Illust. In-8°, 346 p. Biggs. 6f,25.

HARRISON (W.-J. and W.-J.). — Elements of Metallurgy. In-12, 252 p. Blackie. 3f,15.

HUGHES (N.). — The Magneto Hand-Telephone : Its Construction, Fitting-up and Adaptability to Everyday Use. In-16, 80 p. Spons. 4f,40.

MAYCOCK (W.-P.). — Electric Lighting and Power Distribution. 282 Illusts. and Diagrams. In-8°, 460 p. Whittaker. 7f,50.

SALOMONS (Sir D.). — Electric Light Installations. Vol. 3. Application : A Practical Handbook. 7th ed., Revised and Enlarged. With 33 Illusts. An ed., mostly Re-written, of « Electric Light Installations and the Management of Accumulators ». In-8°, 238 p. Whittaker. 6f,25.

SLOANE (T.-O'CONNOR.). — The Standard Electrical Dictionary : A Popular Encyclopædia of Words and Terms Used in the Practice of Electrical Engineering. In-8°. Crosby Lockwood and Son. 9f,40.

SNELL (A.-T.). — Electric Motive Power : The Transmission and Distribution of Electric Power by Continuous and Alternate Currents. With a Section on the Applications of Electricity to Mining Work. In-8°, 400 p. Electrician Office. 13f,15.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

ABRAHAM (F.). — Tke New Era of tlie Goldmining Industry in Witwatersrand. Trans. from the German by *H. C. Simonsen*. With an Authentic Map of the Fields. In-8°, 47 p. E. Wilson and C°. 1f,25.

BARKER (W.-H.). — The Gold Fields of Western Australia. With Large Geological Map of Western Australia, and Plans of the Various Gold Fields. In-8°, 86 p. Simpkin. 1f,25.

FOSTER (C. LE N.). — A Text-book of Ore and Stone Mining. With Frontispiece and Illustrations. In-8°, 770 p. C. Griffin and C°. 42f,50.

MILNE (J.). — The Miner's Handbook. Revised ed. In-8°, 310 p. Crosby Lockwood and Son. 9f,40.

Parliamentary. — Coal Dust in Mines, Evidence before Royal Commission on Explosions from. Vol. 2. With Appendices and Index, Plans, Illustrations and Diagrams. 7f,10.

—— Mineral Statistics of the United Kingdom for 1893. Maps. 2 fr.

Plan of the Mining Leases at Coolgardie, Western Australia. E. Wilson.

ROBERTS (A.). — The Harrogate Mineral Waters. New Analyses. With Observations. In-8°, 48 p. Harrogate, Ackrill. 0f,65.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

BELL (H.). — Railway Policy in India. In-8°, 368 p. Rivington, Percival and C°. 20 fr.

FINDLAY (Sir G.). — The Working and Management of an English Railway. 5th ed., Revised and Enlarged. With Portrait and Biographical Sketch. Ed. by *S. M. Philip*. With numerous Illusts. In-8°, 412 p. Whittaker. 9f,40.

GEORGE (E.-M.). — Railways in India : Their Economical Construction and Working. In-8°, 86 p. E. Wilson. 3f,15.

HEDGES (K.). — American Electric Street Railways : Their Construction and Equipment. With Notes as to the Cost of Installation and of Maintenance; also the Advantages of Electric Traction Compared with other Methods. In-8°, 210 p. Spons. 15f,65.

HUGHES (G.). — The Construction of the Modern Locomotive. In-8°, 278 p. Spons. 11f,25.

MCDONNEL (R.-W.).— Through Locomotive Works : Being Advice to Young Mechanical Engineers. In-8°, 62 p. Dublin, McGee. Simpkin. 3f,75.

Parliamentary. — Railway Accidents. Returns and Inspectors Reports. Jan. to March, 1894. 0f,85.

—— Railways. Continuous Brakes. Returns, July-Dec., 1893. 1f,25.

—— —— Continuous Brakes. Returns, Jan. to June, 1894. 1f,25.

—— Railway Signal Arrangements. Return for 1893. 1f,15.

—— Railway Traffic, Capital, etc., United Kingdom. Returns for 1893. 1f,15.

STRETTON (C.-E.). — The Locomotive Engine and its Development : A Popular Treatise on the Gradual Improvements made in Railway Engines between 1803 and 1894. With numerous Illusts. New ed. In-8°, 216 p. Crosby Lockwood and Son. 3f,15.

TUIT (J.-E.). — The Tower Bridge : Its History and Construction from the Date of the Earliest Project to the Present Time. In-4°, 100 p. Engineer Office. 6f,25.

WARREN (W.-H.). — Engineering. Construction in Iron, Steel and Timber. In-8°. Longmans. 20 fr.

8° *Législation.*

STEWART (D.-R.). — Treatise on the Law relating to Mines, Quarries and Minerals in Scotland. Londres. In-8°, 440 p. 45 fr.

9° *Objets divers.*

ALEXANDER (J.). — Model Engine Construction. With Practical Instructions to Artificers and Amateurs. Containing numerous Illusts. and 21 Working Drawings from original Drawings by the Author, and Re-drawn by C. E. Jones. In-8°, VIII-324 p. Whittaker and C°. 13f,15.

BURTON (W.-K.).— The Water Supply of Towns and the Construction of Waterworks : A Practical Treatise for the Use of Engineers and Students of Engineering. To which is Appended a Paper on the Effects of Earthquakes on Waterworks, by Prof. *J. Milne*. Numerous Plates and Illusts. In-8°, 320 p. Crosby Lockwood and Son. 31f,25.

POTTS. — Mining : Register and Directory for the Coal and Ironstone Trades of Great Britain and Ireland, 1894-1895. In-8°. North Shields, Potts. Simpkin. 13f,15.

SMITH (R.-H.). — Forty-three Geographical Tables or Diagrams for the Conversion of Measurements in Different Units. In-4°. C. Griffin and C°. 9f,40.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

DAVIS (W.-M.). — Elementary Meteorology. Boston. In-8°. 15f,65.

DAY (DAVID-T.). — Mineral Resources of the United States. Vols.

for 1892 and 1893. In-8°. Washington, Government Printing Office. Chaque vol., 2f,75.

HINRICHS (G.-D.). — Elements of Atom Mechanics. Vol. 1. The True Atomic Weights of the Chemical Elements and the Unity of Matter. Portrait and Plates. In-8°, 268 p. New-York, Westermann and C°. 18f,75.

POWELL (J.-W.). — United States Geological Survey. 12th Annual Report, 1890-1891. Part 1, Geology; Part 2. Irrigation. In-4°. Washington, Government Printing Office.

—— United States Geological Survey. 13th Annual Report, 1891-1892. In 3 Parts. Part 1, Report of Director; Part 2, Geology; Part 3, Irrigation. Maps. Illust. 3 vols. In-4°. Washington, Government Printing Office.

ROTHWELL (R.-P.). — The Mineral Industry : Its Statistics, Technology and Trade. Vol. 2. In-8°, 1050 p. New-York, Scientific Publishing C°. 31f,25.

United States Geological Survey. — Bulletin. No. 97, The Mesozoic Echinodermata of the United States; No 98, Flora of the Outlying Carboniferous Basins of South-Western Missouri; No. 99, Record of North American Geology for 1891; No. 100, Bibliography and Index of the Publications of the Geological Survey, with the Laws Governing their Printing and Distribution; No. 101, Insect Fauna of the Rhode Island Coal Field; No. 102, A Catalogue and Bibliography of North American Mesozoic Invertebrata; No. 103, High Temperature Work in Igneous Fusion and Ebullition, Chiefly in Relation to Pressure; No. 104, The Glaciation of the Yellow Stone Valley, North of the Park; No. 105, The Laramie and the Overlying Livingstone Formation in Montana; No. 106, The Colorado Formation and its Invertebrate Fauna; No. 107, The Trap Dikes of the Lake Champlain Region; No. 108, A Geological Reconnaissance in Central Washington; No. 109, The Eruptive and Sedimentary Rocks on Pigeon Point, Minnesota, and their Contact Phenomena; No. 110, The Paleozoic Section in the Vicinity of Three Forks, Montana; No. 111, Geology of the Big Stone Gap Coal Field of Virginia and Kentucky; No. 112, Earthquakes in California in 1892; No. 113, Report of Work Done in the Division of Chemistry during the Fiscal Years 1891-1892 and 1892-1893; No. 114, Earthquakes in California in 1893; No. 115, A Geographical Dictionary of Rhode Island; No. 116, A Geographical Dictionary of Massachusetts; No. 117, A Geographical Dictionary of Connecticut. In-8°. Washington, Government Printing Office.

—— Monographs. Vol. 19, Penokee Iron-Bearing Series of Michigan and Wisconsin. By *R.-D. Irving* and *C.-R. Van Hise*. Maps. In-4°, 534 p. Washington, Government Printing Office.

—— —— Vol. 21, Tertiary Rhynchophorous Coleoptera of the United States. By *Samuel Hubbard Scudder*. Illusts. In-4°, 206 p. Washington, Government Printing. Office. 4f,95.

—— —— Vol. 22, A Manual of Topographic Methods. By *Henry Gannett*. Illust. In-4°, 300 p. Washington, Government Printing Office. 6f,25.

OUVRAGES SUISSES.

HEIM (A.). — Geologische Excursion quer durch die östlichen Schweizer-Alpen. Lausanne, F. Payot. In-8°, 16 p., 1 pl. 2 fr.

Livret-Guide géologique dans le Jura et les Alpes de la Suisse, publié par le comité d'organisation du congrès géologique international, tenu à Zurich en 1894. In-8° av. 89 grav. et 13 pl. 18f,75.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BACHMANN (P.). — Zahlentheorie. Versuch einer Gesammtdarstellung dieser Wissenschaft in ihren Haupttheilen. II. Thl. Die analytische Zahlentheorie. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, XVIII-494 p. 15 fr. (2513)

BERTHENSON (G.). — Grundprincipien der physiologischen Mechanik und das Buttenstedt'sche Flugprincip. Berlin, Mayer und Müller. In-8°, 28 p. 1f,25. (2095)

BOCHER (M.). — Die Reihenentwickelungen der Potentialtheorie. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, VIII-258 p. avec 113 fig. 10 fr. (4066)

Brückner (M). — Die Elemente der vierdimensionalen Geometrie mit besonderer Berücksichtigung der Polytope. (Extr. des *Jahresber. d. Vereins für Naturkunde in Zwickau.*) Zwickau, Gebr. Thost. In-8°, 61 p. avec 3 pl. 2f,50. (2881)

Grassmann (H.). — Gesammelte mathematische und physikalische Werke. Auf Veranlassung der mathematisch-physikalischen Klasse der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften und unter Mitwirkung von Jul. Lüroth, Ed. Study, Just. Grassmann, Hm. Grassmann d. J., G. Scheffers herausgegeben von *F. Engel*. I. Bd. 1. Thl. Die Ausdehnungslehre von 1844 und die geometrische Analyse. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, XIII-435 av. portrait et 35 fig. 15 fr. (3276)

Hagen (J.). — Synopsis der höhern Mathematik. II. Bd. Geometrie der algebraischen Gebilde. Berlin, F.-L. Dames. In-4°, V-416 p. 37f,50. (2104)

Laska (W.). — Sammlung von Formeln der reinen und angewandten Mathematik. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, XVI-1071 p. av. pl. 32f,50. (4075)

Seguier (J.). — Formes quadratiques et multiplication complexe. Deux formules fondamentales d'après Kronecker. Berlin, F.-L. Dames. In-8°, VIII-339 p. 15 fr. (4084)

Weierstrass (K.). — Mathematische Werke. Herausgegeben unter Mitwirkung einer von der königl. preussischen Akademie der Wissenschaften eingesetzten Commission. I. Bd. Abhandlungen I. Berlin, Mayer und Müller. In-4°, VIII-356 p. 26f,25. (3683)

2° *Physique et Chimie.*

Anderssohn (A.). — Physikalische Prinzipien der Naturlehre. Halle, G. Schwetschke. In-8°, XI-93 p. 2 fr. (3262)

Drude (P.). — Physik des Aethers auf electromagnetischer Grundlage. Stuttgart, F. Enke. In-8°, XVI-592 p. av. 66 fig. 17f,50. (2888)

Eder (J.-M.) und E. Valenta. — Absorptionspectren von farblosen und gefärbten Gläsern, mit Berücksichtigung des Ultraviolett. (Extr. des *Denksch. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-4°, 11 p. av. 1 pl. héliograph. et 2 pl. de courbes. 2 fr. (3657)

Erlenmeyer (E.). — Lehrbuch der organischen Chemie. II. Thl. Die aromatischen Verbindungen. Begonnen von *Rch. Meyer*,

fortgesetzt von *H. Goldschmidt*, weiter fortgeführt von *K. v. Buchka*. I. Bd. 8 Lfg. Leipzig, C.-F. Winter. In-8°. III p. et p. 1121-1350 (Fin). 7f,50. (2890)

Föppl (A.). — Einführung in die Maxwell'sche Theorie der Elektricität. Mit einem einleitenden Abschnitte über das Rechnen mit Vectorgrössen in der Physik. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, XVI-413 p. av. fig. 12f,50. (2528)

Handbuch der anorganischen Chemie, herausgegeben von *O. Dammer*. II. Bd. 1 Thl. Stuttgart, F. Enke. In-8°, VIII-715 p. 22f,50. (2530)

—— II. Bd. 2 Thl. Stuttgart, F. Enke. In-8°, XIII-966 p. (Fin). 31f,25. (4466)

Handbuch der Physik, unter Mitwirkung von F. Auerbach, F. Braun, E. Brodhun u. A. herausgegeben von *A. Winkelmann*. III. Bd. 21. Lfg. Breslau, E. Trewendt. In-8° av. fig. 4f,50. (2531)

—— III. Bd. 22. Lfg. Breslau, E. Trewendt. In-8° av. fig. 4f,50. (3665)

Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von *A. Ladenburg*. Unter Mitwirkung von Abel, Ahrens, Alexander, etc. 76. Lfg. Brunswick, Vieweg. In-8°, p. 769-864. 3 fr. (2532)

—— XII. Bd. Breslau, E. Trewendt. In-8°, 642 p. av. fig. 20 fr. (2900)

Hankel (W.-G.) und H. Lindenberg. — Elektrische Untersuchungen. 20. Abhandlung. (Extr. des *Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften.*) Leipzig, S. Hirzel. In-8°, 34 p., 2 pl. color. 2 fr. (2901)

Lomnitz (E). — Kenntnis des Trimethyltrimethylentrisulfons Heidelberg, J. Hörning. In-8°, 47 p. 1f,50. (3281)

Meusel (E.). — Das Atomvolumen in chemischen Verbindungen. Liegnitz, E. Scholz. In-8°, 127 p. 5 fr. (4078)

Ostwald (W.). — Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre. 2. Lfg. Leipzig, Veit und C°. In-8°, p. 81-160 av. fig. 2f,50. (2545)

—— —— 3 u. 4. Lfg. Leipzig, Veit und C°. In-8°, p. 161-320 av. fig. 2f,50. (3676)

—— Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytischen Chemie. Leipzig, W. Engelmann. In-8°, VIII-187 p. 5 fr. (2912)

Pockels (E.). — Ueber den Einfluss des elektrostatischen Feldes auf das optische Verhalten piezoelektrischer Krystalle. (Extr. des *Abhandl. d. k. Gesellsch. d. Wissenschaften zu Göttingen.*)

Göttingen, Dieterich's Verl. In-4°, IV-204 p. av. 14 fig. 27f,50. (2913)

SCHNELLER (K.). — Reactionen und Reagentien. Ein Handbuch für Aerzte, Analytiker, Apotheker und Chemiker. I. Bd. Eichstätt, A. Stillkrauth. In-8°, IV-605 p. 7f,50. (3292)

SCHWARZ (W.). — Beiträge zur Kenntnis der umkehrbaren Umwandlungen polymorpher Körper. Göttingen, Vandenhoeck und Ruprecht. In-4°, 50 p. 3 fr. (3294)

STREHL (K.). — Theorie des Fernrohrs auf Grund der Beugung des Lichts. I. Thl. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, VII-136 p., 1 pl. 5 fr. (2126)

STRICKER (S.). — Ueber strömende Elecktricität. Eine Studie. Schlussheft. Vienne, F. Deuticke. In-8°, IV p. et p. 90-148. 1f,55. L'ouvrage complet, 4f,70. (4087)

VOIGT (W.). — Kompendium der theoretischen Physik. I. Bd. Leipzig, Veit und C°. In-8°. (Paraîtra en 2 volumes). 17f,50. (4485)

WÜLLNER (A.). Lehrbuch der Experimentalphysik. I. Bd. Allgemeine Physik und Akustik. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, X-1000 p. av. 321 fig. 15 fr. (4090)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Beiträge zur Geologie und Paläontologie des Herzogthums Braunschweig und der angrenzenden Landestheile, herausgegeben im Auftrage des herzogl. Staats-Ministeriums von herzogl. Kammer-Direction der Bergwerke. 1. Heft. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, X-202 p., 8 pl. 5f,65. (3265)

BÖSE (E.). — Monographie des Genus Rhynchonellina Gemm. (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 32 p. av. fig. et 2 pl. 7f,50. (2879)

BRANCO (W.). — Schwabens 125 Vulkan-Embryonen und deren tufferfüllte Ausbruchsröhren, das grösste Gebiet ehemaliger Maare auf der Erde. (Extr. des *Jahreshefte d. Vereins f. vaterl. Naturkunde in Württemberg*). Stuttgart, E. Schweizerbart. In-8°, XV-816 p. av. 115 fig. et 2 cartes géol. 15 fr. (4454)

ENGEL. — Ueber kranke Ammonitenformen im schwäbischen Jura. (Extr. des *Nova Acta d. k. Leopold.-Carolinisch deutsch. Akad. der Naturforscher*). Halle; Leipzig, W. Engelmann. In-4°, 60 p., 3 pl. 6f,25. (2101)

v. ETTINGSHAUSEN (C.). — Zur Theorie der Entwickelung der

jetzigen Floren der Erde aus der Tertiärflora. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften*). Vienne, Tempsky. In-8°, 90 p. 1f,90. (3660)

FRITSCH (A.). — Fauna der Gaskohle und der Kalksteine der Permformation Böhmens. III. Bd. 3. Heft. Palaeoniscidae. I. Prague, F. Rivnac. In-f°, p. 81-104, av. fig. et 10 pl. color. 40 fr. (4459)

v. GÜMBEL (K.-W.). — Geologie von Bayern in 2 Thln. II. Bd. Geologische Beschreibung von Bayern. Cassel, Th. Fischer. In-8°, VIII-1184 p. av. fig. et profils et une carte géol. de la Bavière. 75 fr. (3663)

HAECKEL (E.). — Systematische Phylogenie. Entwurf eines natürlichen Systems der Organismen auf Grund ihrer Stammesgeschichte. I. Thl. A. u. d. T. : Systematische Phylogenie der Protisten und Pflanzen. I. Thl. des Entwurfs einer systematischen Stammesgeschichte. Berlin, G. Reimer. In-8°, XV-400 p. 12f,50. (4465)

HINTZE (C.). — Handbuch der Mineralogie. 8. Lfg. Leipzig, Veit und C°. p. 1121-1280, av. 56 fig. 6f,25. (2902)

KARSTENS (K.). — Eine neue Berechnung der mittleren Tiefen der Oceane, nebst einer vergleichenden Kritik der verschiedenen Berechnungsmethoden. Kiel, Lipsius und Tischer. In-8°, 32 p. av. 5 fig. et 27 tabl. 2f,50. (3667)

LŒWINSON-LESSING (F.). — Petrographisches Lexikon. Repertorium der petrographischen Termini und Benennungen. II. Thl. (Annexe aux *Sitzungsber. d. Naturforscher-Gesellsch. zu Jurjew*). Jurjew; Berlin, R. Friedländer und Sohn. In-8°, p. 113-256 (Fin). 5 fr. (3671)

MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. In Verbindung mit Philippi, L. Pfeiffer, Duncker, etc. neu herausgegeben und vervollständigt von *H.-C. Küster*, nach dessen Tode fortgesetzt von *W. Kobelt*. Livr. 406 et 407. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°, av. pl. color. Chaque livraison 11f,25. (2543)

MERRIAM (J.-C.). — Ueber die Pythonomorphen der Kansas-Kreide. (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 39 p. av. 1 fig. et 4 pl. 15 fr. (2909)

NOÉ v. ARCHENEGG (A.). — Ueber atavistische Blattformen des Tulpenbaumes. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften*). Vienne, F. Tempsky. In-4°, 16 p., 1 pl. 2f,75. (3674)

RAUFF (H.). — Palaeospongiologie. I. oder allgemeiner Thl. und II. Thl. I. Hälfte. (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart,

E. Schweizerbart. In-4°, IV-346 p. av. fig. et 17 pl. 100 fr. (2550)

TURNER (A.). — Die Kraft und Materie im Raum; Grundlage einer neuen Schöpfungstheorie. Leipzig, Thomas. In-8°, XXI-378 p., 30 pl.

WALTHER (J.). — Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. III. Thl. Lithogenesis der Gegenwart. Beobachtungen über die Bildung der Gesteine an der heutigen Erdoberfläche. Iéna, G. Fischer. In-8°, VIII p. et p. 533-1055, av. 8 fig. (Fin). 16f,25. L'ouvrage complet, 34f,40. (2924)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

HOPPE (O.). — Elementares Lehrbuch der technischen Mechanik, für Studirende und zum Selbstunterricht bearbeitet. I. Abth. Mechanik des Punktes. — Mechanik der Körper. Leipzig, A. Felix. In-8°, XIV-361 p. av. 453 fig. 13f,75. (2361)

v. HOYER (E.). — Kurzes Handbuch der Maschinenkunde. 6. Lfg. Münich, Th. Ackermann. In-8°, p. 481-576, av. fig. 3 fr. (2362)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie.*

BISCAN (W.). — Konstruktionen für den praktischen Elektrotechniker nach ausgeführten Maschinen, Apparaten, Vorrichtungen, etc. Ein Hilfsmittel zum Entwerfen und Konstruiren, sowie für den Unterricht. 1. Lfg. Leipzig, O. Leiner. In-4°, 6 pl. av. III-12 p. de texte illustré. 1f,90. (Paraîtra en 12 livraisons). (2352)

EXLER (C.). — Die elektrische Vorfeldbeleuchtung und deren Anwendung im Festungskriege. Vienne, L.-W. Seidel und Sohn. In-8°, III-207 p. av. 3 fig. et 16 pl. 10f,65. (2891)

KAPP (G.). — Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom und Transformatoren. Deutsch von *L. Holborn* und *K. Kahle*. Berlin, J. Springer. Münich, R. Oldenbourg. In-8°, VIII-331 p. av. 137 fig. 8f,75. (3136)

RÜHLMANN. — Grundzüge der Electrotechnik. Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der Starkstrom-Elektrotechnik. 1. Hälfte. Leipzig, O. Leiner. In-8°, 252 p. av. 132 fig. 7f,50. (2760)

SLABY (A.). — Calorimetrische Untersuchungen über den Kreisprozess der Gasmaschine. Berlin, L. Simion. In-4°, VIII-240 p. av. 80 fig. et 9 pl. lith. 37f,50. (2761)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

BÖRNER (A.). — Der Kohlenbergmann in seinem Berufe. 30 Lichtdruck-Bilder aus Kohlenbergwerken mit Magnesiumlicht aufgenommen. Mit erläuterndem Text von *M. Georgi*. Freiberg, Craz und Gerlach. In-4°, 31 feuilles de texte. 20 fr. (4700)

SCHMEISSER. — Ueber Vorkommen und Gewinnung der nutzbaren Mineralien in der Südafrikanischen Republik (Transvaal) unter besonderer Berücksichtigung des Goldbergbaues. Berlin, D. Reimer. In-4°, XVI-151 p. av. 19 cartes et pl. 5 fr. (3914)

7° *Législation. — Économie politique et sociale.*

KARPELES (B.). — Die Arbeiter des mährisch-schlesischen Steinkohlen-Revieres. Social-statistische Untersuchungen. I. Bd. 2. Hälfte. Leipzig, Duncker und Humblot. In-4°, p. 151-306. 9 fr. (4015)

SCHUSTER v. BONNOTT (R.) und A. WEEBER. — Die Rechtsurkunden der österreichischen Eisenbahnen. Sammlung der die österreichischen Eisenbahnen betreffenden Specialgesetze, Concessions- und sonstigen Rechtsurkunden. 16. u. 17. Heft. Vienne, A. Hartleben. In-8°, II. Bd., p. 961-1216. Chaque livraison 2f,85. (4045)

8° *Objets divers.*

BECK (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. II. Abtlg. Vom Mittelalter bis zur neuesten Zeit. I. Thl. Das 16. und 17. Jahrh. 5. Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°. 6f,25. (2736)

DÜMMLER (K.). — Die Ziegel und Thonwaaren-Industrie in den Vereinigten Staaten und auf der Columbus-Weltausstellung in Chicago 1893. (Extr. de la *Deutsche Töpfer- und Ziegler-Zeitung*). Halle, W. Knapp. In-4°, V-180 p. av. fig. et 13 pl. 18f,75. (4704)

HAAS (H.-J.). — Quellenkunde. Lehre von der Bildung und vom Vorkommen der Quellen und des Grundwassers. Leipzig, J.-J. Weber. In-8°, VIII-220 p. av. 45 fig. 5f,65. (4464)

SCHUCHT (L.). — Die Fabrikation des Superphosphates und Thomasphosphatmehls. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, VII-189 p. av. 56 fig. 9f,40. (3915)

OUVRAGES RUSSES.

Michalski (A.). — Die Ammoniten der unteren Wolga-Stufe. Livr. 1 et 2. Deutsches Resumé. (Extr. des *Mémoires du comité géologique.*) Saint-Pétersbourg, Eggers et Cie. In-4°, 497 p., 13 pl. 37f,50.

Schmalhausen (J.). — Ueber devonische Pflanzen aus dem Donetz-Becken. (Extr. du même recueil.) Saint-Pétersbourg, Eggers et Cie. In-4°, 36 p., 2 pl. 3f,75.

OUVRAGES DANOIS.

Bartholin (C.-T.). — Nogle i den Bornholmske Juraformation forekommende Planteforsteninger. Copenhague. In-8°, 50 p., 14 pl. 9f,40.

Rordam (R.). — De geologiske Forhold i det nordostlige Sjælland. Copenhague. In-8°, 114 p. av. 5 pl. et 2 cartes. 3f,75.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Anzilotti (F.). — Trattato di analisi algebrica, ad uso degli studenti delle università d'Italia. Parte I (Analisi algebrica elementare). Naples, tip. Gennaro M. Priore. In-8°, viiij-308 p. (4691)

Arcais (F. d'). — Corso di calcolo infinitesimale. Volume II. Padoue, A. Draghi. In-8°, xv-693 p. 11 fr. (6459)

Arzelà (C.). — Sulle serie doppie trigonometriche : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 12 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (6039)

Aschieri (F.). — Geometria proiettiva del piano e della stella. Seconda edizione corretta ed ampliata del Manuale di geometria proiettiva. Milan, U. Hoepli. In-16, vj-228 p. (5196)

Beccaro (T. del). — Sopra il teorema di Wilson generalizzato : memoria. Rome, tip. dell'accad. dei Lincei. In-4°, 31 p. (Extr. des *Mem. della r. accad. dei Lincei.*) (9852)

Bellacchi (G.). — Introduzione storica alla teoria delle funzioni ellittiche. Florence, tip. G. Barbèra. In-8°, iiij-316 p. av. fig. 6 fr. (8479)

Bianchi (L.). — Lezioni di geometria differenziale. Pise, E. Spoerri. In-8°, viij-541 p. 20 fr. (6464)

Cangia (G.-D.). — Contributo alla determinazione dei momenti d'inerzia delle figure piane : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 37 p. 5 pl. (Extr. des *Atti del collegio degli ingegneri ed architetti in Bologna.*) (5270)

Fabri (C.). — I moti vorticosi di ordine superiore al primo in relazione alle equazioni pel movimento dei fluidi viscosi : nota. Bologne, tip. Gamberini et Parmeggiani. In-4°, 12 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (6043)

Gianturco (G.). — Teorie matematiche della ricerca degli elementi compensati per la determinazione dei punti trigonometrici catastali in Italia. Potenza, tip. C. Spera. In-4°, 35 p. (7223)

Lauricella (G.).— Equilibrio dei corpi elastici isotropi. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, vj-120 p. (Extr. des *Annali d. r. scuola normale superiore di Pisa.*) (9858)

Martone (M.). — Sulla somma delle potenze simili della serie dei numeri naturali. Catanzaro, tip. V. Asturi e figli. In-4°, 18 p. (7224)

Pascal (E.). — Lezioni di calcolo infinitesimale. Parte I (Calcolo differenziale). Milan, U. Hoepli. In-16, viiij-316 p. av. fig. (8498)

—— —— Parte II (Calcolo integrale). Milan, U. Hoepli. In-16, vj-318 p. av. fig. (9859)

Pincherle (S.). — Contributo alla generalizzazione delle frazioni continue : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 26 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (4709)

Pincherle (S.). — Geometria metrica e trigonometria. Quarta edizione. Milan, U. Hoepli. In-16, iiij-458 p. (9860)

Tedone (O.). — Il moto di un ellissoide fluido secondo l'ipotesi di Dirichlet. Pise, tip. Nistri e C. In-8°, iiij-100 p. (6090)

2° *Physique et Chimie.*

Alessandri (P.-E.). — Analisi volumetrica applicata ai prodotti commerciali e industriali. Milan, U. Hoepli. In-16, v-341 p. (9025)

Andreoli (E.) e N. De' Colli. — L'ozono : produzione e sue applicazioni nell' industria. Florence, tip. G. Civelli. In-8°, 120 p. (9936)

Bargoni (E.). — Amido e glicogene. Messine, tip. d'Angelo. In-8°, 8 p. (9851)

Bonacini (C.). — Il problema dell' isocromatismo nella cromofotografia interferenziale : studio. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 24 p. (Extr. du *Bollett. d. Soc. fotogr. ital.*) (6465)

Capranica (S.) e E. Carbonelli. — Nota sulla preparazione e sulle reazioni dell' argento colloide. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (8482)

Cavazzi (A.). — Soluzione di alcuni quesiti di termochimica tecnica, concernenti il riscaldamento, con speciale riguardo all' impiego dei combustibili aeriformi. Bologne, tip. Azzoguidi. In-8°, 24 p. (5203)

Chistoni (C.). — Sull' applicazione del magnetometro dei seni alla determinazione del coefficiente medio di temperatura dei magneti. Modène, tip. G. Vincenzi e nipoti. In-8°, 25 p. (Extr. des *Atti d. soc. dei naturalisti di Modena.*) (6467)

Ciamician (G.) e P. Silber. — Sopra un nuovo principio della vera corteccia di *Coto* : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 16 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (4695)

—— —— Sulla maclurina e floretina : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 11 p. (Extr. du même recueil.) (6042)

—— —— Ricerche sugli alcaloidi del melagrano; sui derivati della granatonina : II memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 17 p. av. fig. (Extr. du même recueil.) (7636)

Cuneo (G.). — Derivati monosostituiti dell' amidoguanidina. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 10 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (4697)

Cunéo (G.). — Sopra l'urazolo : nota. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. du même recueil.) (8483)

—— Sulla β-fenil-γ-metilidantoina. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 8 p. (Extr. des *Annali di chimica e di farcologia.*) (7638)

Ferraris (G.). — Sul congresso internazionale di elettricità in Chicago : relazione (Ministero di agricoltura, industria e commercio). Rome, tip. G. Bertero. In-8°, 31 p. 20 cent. (Extr. des *Annali dell' industria e del commercio.*) (9493)

Gelcich (E.). — Ottica. Milan, U. Hœpli. In-16°, xv-576 p. av. fig. (8487)

Giazzi (F.). — Intorno alla natura e all' uso dei tubi di comunicazione colla pompa-tromba a mercurio Alvergniat, tipo Sprengel, e proposta di modificazioni in questa macchina : nota. Pérouse, tip. Boncompagni. In-8°, 14 p. (8488)

Gottardi (A.). — Sul metodo Röse per la ricerca e dosamento dell' impurità nei liquidi alcoolici e sue applicazioni. Acqui, tip. S. Dina. In-8°, 34 p. (Extr. de la *Gazzetta del farmacista.*) (8963)

Guasti (G.). — Sulle reazioni della fenacetina. Florence, tip. pei Minorenni corrigendi. In-8°, 7 p. (Extr. de l'*Orosi.*) (8491)

Guelfi (G.) e L. Buscaglia. — Analisi chimica dell' acqua di Mele. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 11 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (8964)

Malagnini (G.). — Sopra alcune diossime : tesi. Bologne, soc. tip. già Compositori. In-8°, 38 p. (9395)

Martini (T.). — Di alcuni fenomeni di elettrolisi e di polarizzazione. Venise, tip. Ferrari. In-8°, 16 p. (Extr. des *Atti d. r. istit. veneto di scienze, lettere ed arti.*) (5211)

Negri (G.-B.). — Sopra le relazioni cristallografiche dell' antracene col fenantrene e sopra quelle dell' α — e β naftolo colla naftalina. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 11 p. av. fig. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (5619)

Palazzo (L.). — Un piccolo magnetometro da viaggio per lo studio delle perturbazioni magnetiche locali : nota. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 24 p. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica.*) (8497)

Pellizzari (G.). — Sintesi dell' amidoguanidina. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 10 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (4707)

Pellizzari (G.). e G. Cuneo. — Urazolo e triazolo. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 16 p. (Extr. des *Annali di chimica e di farmacologia.*) (4708)

—— —— Ricerche sulla guanidina IV amidoguanidina e suoi derivati alchilici (Laboratorio di chimica generale della r. università di Genova). Florence, tip. pei Minorenni corrigendi. In-8°, 19 p. (Extr. de l'*Orosi.*) (8499)

Piccini (A.). — Sulle soluzioni di cloruro cronico verde $CrCl^3.6H^2O$. Florence, tip. pei Minorenni corrigendi. In-8°, 7 p. (Extr. de l'*Orosi.*) (8500)

Rambelli (A.). — Nuovo metodo di ricerca a freddo degli alcaloidi e glucosidi in casi di perizie chimico-legali : nota. Acqui, tip. S. Dina. In-8°, 5 p. (Extr. de la *Gazzetta del farmacista.*) (7644)

Righi (A.). — Sulle oscillazioni elettriche a piccola lunghezza d' onda e sul loro impiego nella produzione di fenomeni analoghi ai principali fenomeni dell' ottica : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 107 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (9400)

Roncagliolo (C.). — α Naftilguanazolo. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (9401)

Sestini (F.) e D. Martelli. — Acqua acidulo-alcalina ferroso-litinica della sorgente di Agnano : relazione dell' analisi chimica. Pise. tip. T. Nistri e C. In-8°, 26 p. (9862)

Simonini (A.) — Sul peso molecolare dello zolfo cristallizzato ortorombico e monoclinico : nota. Alba, tip. Paganelli. In-16°, 11 p. (8972)

Tacchini (P.) — Sulle carte magnetiche d' Italia, eseguite da Ciro Chistoni e Luigi Palazzo per cura del r. ufficio centrale meteorologico di Roma : relazione. Gênes, tip. Sordomuti. In-8°, 31 p. (Extr. des *Atti del primo congresso geografico italiano.*) (5215)

Tarugi (N.). — Saggi d' analisi qualitativa. Montepulciano, tip. Unione cooperativa. In-8°, 43 p. (6049)

Tolomel (G.) e G. Vessichelli. — Elettricità e magnetismo : trattato teorico-pratico. Florence, succ. Le Monnier. In-8°, viij-454 p. av. fig. 6 fr. (9403)

Torelli (E.). — Di come si potrebbe determinare la tolleranza delle dispersioni di acqua e gaz che avvengono nelle distribuzioni per tubi. Varese, tip. Maj e Malnati. In-8°, 22 p. (6882)

Vincenzi (V.). — Sul pirogallato di bismuto : nota. Milan, tip. del Patronato. In-8°, 8 p. (6051)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Achiardi (G. d'). — Indice di rifrazione delle tormaline elbane. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 8 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di sc. naturali.*) (4689)

—— Roccie eruttive del bacino boratifero di Sultan-Tchaïr. Pise, tip. T. Fistri e C. In-8°, 16 p. (Extr. du même recueil.) (8051)

—— Sul bacino boratifero di Sultan-Tchaïr nell' Asia minore. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 24 p. (Extr. du même recueil.) (9389)

Amicis (G.-A. de). — Sopra alcune forme nuove di Foraminiferi del pliocene inferiore : nota. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 15 p. av. planche. (Extr. des *Atti d. soc. toscana di sc. naturali.*) (4239)

—— Osservazioni critiche sopra talune *Tinoporinae* fossili. Pise, T. Nistri et C. In-8°, 7 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di sc. naturali.*) (6458)

Baratta (M.). — Sui terremoti garganici del 1892 : comunicazione. Gênes, tip. Sordomuti. In-8°, 7 p. av. fig. (Extr. des *Atti del primo congresso geografico italiano.*) (5198)

—— Sulla velocità di propagazione del terremoto veronese del 7 giugno 1891 : nota. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 7 p. av. fig. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica.*) (5199)

—— Intorno ai fenomeni sismici avvenuti nella penisola garganica durante il 1893 : studio. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 48 p. (Extr. du même recueil.) (8478)

Baretti (M.). — Elementi di mineralogia, litologia e geologia. 2 vol. Turin. In-8°, av. 750 fig. 8 fr.

Barpi (U.). — Brevi cenni intorno agli avanzi fossili animali della torbiera di Lonato. Milan, tip. degli Operai. In-16°, 19 p. (5200)

Bellardi (L.). — I molluschi dei terreni terziarî del Piemonte e della Liguria. Parte XIV (Strombidae, Terebellidae, Chenopidae ed Haliidae) completata e condotta a termine dal dott. *F. Sacco.* Turin, C. Clausen. In-4°, 40 p., 2 pl. (5613)

—— —— Parte XV (Cypracidae ed Amphiperasidae) a cura del dott. *F. Sacco.* Turin, C. Clausen. In-4°, 73 p., 3 pl. (8480)

Bosniaski (S. de). — Nuove osservazioni sulla flora fossile del

verrucano nel Monte pisano. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 9 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di sc. naturali.*) (8481)

Cappellini (G.). — Rinoceronti fossili del museo di Bologna : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 15 p. 2 pl. (Extr. des *Mem. d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (7635)

Caterino (M.). — Contributo allo studio della geologia sicula ossia osservazioni geognostiche sui dintorni di Nicosia. Aversa, tip. Francesco Fabozzi. In-8°, 13 p. (9392)

Cipollina (B.). — Nozioni sulla terra in ordine al progresso delle scienze naturali : conferenza. Girgenti, stamp. S. Montes. In-8°, 23 p. (4246)

Cozzaglio (A.). — Studî geologici ed idrografici sul bacino alimentare della fonte di Mompiano e sulla derivazione delle acque potabili per la città di Brescia, con aggiunte : conferenza. Brescia, tip. istituto Pavoni. In-8°, 32 p. av. planche. (4765)

Fornasini (C.). — I foraminiferi della collezione Soldani relativa al saggio crittografico esistente nel museo paleontologico del r. istituto di studî superiori in Firenze. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 32 p. av. planche. (9855)

Garibaldi (P.-M.). — Se e fino a quale misura l' onda irradiata da un terremoto possa somministrare criterî per argomentare della natura dei terreni da essa attraversati : nota preliminare. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 6 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (8486)

Gregorio (A. de). — Nota su taluni coralli del terziario inferiore di Sicilia della formazione delle argille scagliose. Palerme, tip. Virzi. In-8°, 8 p., 2 pl. (Extr. du *Naturalista siciliano.*) (4252)

Guzzanti (C.). — Di un nuovo strumento sismico dell' osservatorio di Mineo e i terremoti della Grecia : nota. Turin, tip. s. Giuseppe degli Artigianelli. In-16, 13 p. (Extr. du *Bollettino mensuale di Moncalieri.*) (8965)

Invernizi (G.). — Due parole sull' origene dell' uomo. Frosinone, tip. C. Stracca. In-8°, 18 p. (9393)

Issel (A.). — Cenni di nuove raccolte nelle caverne ossifere della Liguria. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 35 p. av. planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (9394)

Issel (A.) e G. Agamennone. — Intorno ai fenomeni sismici osservati nell' isola di Zante durante il 1893 : relazione. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 202 p. av. fig. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica.*) (8492)

Meli (R.). — Sopra la natura geologica dei terreni rinvenuti nella fondazione del sifone che passa sotto il nuovo canale diversivo per depositare le torbide dell' Amaseno sulla bassa campagna a destra del canale portatore nelle paludi pontine. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 16 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. geol. italiana.*) (5616)

—— Sopra una zanna elefantina a doppia curvatura, rinvenuta nelle ghiaie d' alluvione dell' Aniene, alla batteria nomentana presso Roma. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 5 p. (Extrait du même recueil.) (5617)

Monti (R.). — Studî petrografici sopra alcune rocce della valle Camonica. Pavie, tip. fr. Fusi. In-8°, 28 p., 3 pl. (Extr. du *Giornale di mineralogia, cristallografia e petrografia.*) (8969)

Ristori (G.). — Di un nuovo *Chelonio* fossile nel miocene dell' isola di Malta : nota. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 17 p. av. pl. (Extr. des *Atti d. soc. toscana di sc. naturali.*) (4256)

Omboni (G.). — Brevi cenni sulla storia della geologia. Padoue, tip. F. Sacchetto. In-16, 72 p. (4704)

Rovereto (G.). — Diabasi e serpentine terziarie nella Liguria occidentale. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 16 p. av. planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (5213)

Sacco (F.). — Le variazioni dei molluschi. Modène, tip. d. Soc. tipografica. In-8°, 159 p. av. planche (Extr. du *Bullett. d. soc. malacol. italiana.*) (8501)

Suess (E.). — L'aspetto della terra. Traduzione dal tedesco del dott. *P.-E. Vinassa De Regny.* Parte I (I movimenti dell' edificio roccioso esterno della terra). Pise, E. Spoerri. In-8°, 218 p. av. fig. 8 fr. (8059)

Tommasi (A.). — La fauna del calcare conchigliare (Muschelkalk) di Lombardia : memoria. Pavie, tip. Cooperativa. In-8°, viij-168 p., 2 pl. (6476)

Trabucco (G.). — Sulla posizione del calcare di Mosciano e degli alti terreni eocenici, del bacino di Firenze : nota preliminare. Florence, tip. M. Ricci. In-8°, 4 p. (8504)

Traverso (S.). — Osservazioni sulla nomenclatura e sulla classificazione delle rocce. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 16 p. (4257)

Traverso (S.). — Il porfido di Monte Cinto in Corsica. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 11 p. av. planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (7426)

Valle (G.). — Su d' alcune modificazioni alle formole milleriane. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 4. p. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia italiana.*) (4258)

Virgilio (F.). — La collina di Torino in rapporto alle Alpi, all' Appennino e alla pianura del Po : memoria geologica. Turin, tip. V. Bona. In-8°, vij-159 p. av. fig. et 1 pl. 5 fr. (9865)

4° *Mécanique appliquée et machines.*

Faloci (C.). — Sul regolamento per l' esercizio e la sorveglianza delle caldaie a vapore approvato con r. decreto 3 aprile 1890, n° 6793, serie 3ª : osservazioni e proposte. Foligno, tip. Artigianelli di s. Carlo. In-8°, 31 p. (8613)

Marin (G.). — Sulla sorveglianza delle caldaie e vapore. Padoue, A. Draghi. In-8°, iiij-266 p. 4 fr. (6916)

Perelli (G.). — Istruzioni ai conduttori di locomobili (Associazione fra gli utenti di caldaie a vapore, avente sede in Milano). Milan, tip. C. Rebeschini e C. In-16, 136 p. (5327)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Banti (A.). — I motori elettrici a campo magnetico rotatorio. Turin. In-8°, 82 p. av. 61 fig. 4 fr.

Barni (E.). — Il montatore elettricista. Terza edizione. Milan, U. Hoepli. In-16, 324 p. av. fig. (8118)

Borghini (N.). — Il fulmine e le sue vittime. Arezzo, tip. Sociale. In-16, 28 p. (4692)

—— Il fulmine : proposte di modificazioni scientifico-pratiche sulla costruzione e posa dei parafulmini. Arezzo, tip. Sociale. In-16, 19 p. (6152)

Buttari (F.). — Saggio del nichelio. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 7 p. (8960)

Wilke (A.) e S. Pagliani. — L' elettricità : sua produzione e sue applicazioni nelle arti, nelle scienze e nell' industria. Prima traduzione italiana riveduta ed ampliata, col concorso di distinti tecnici. Disp. 8. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 273-312 av. fig. 0f,60 la livraison. (9866)

Zoppetti (V.). — Manuale di siderurgia (fabbricazione della ghisa, del ferro e dell' acciaio), pubblicato e completato per cura dell' ing. *E. Garuffa.* Milan, U. Hoepli. In-16, iiij-368 p. av. fig. (4377)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Ghemi (F.). — Perforatrice a mano con scalpello rotativo a percussione : meccanismo inserviente alla preparazione dei fori da mina. Parme, lit. F. Zafferri. In-4°, 12 p. av. planche. (7261)

Guastalla (M.). — Caolini e silici di Calabria : studî tecnici, industriali e commerciali. Palerme, tip. Domenico Vena. In-8°, 70 p. (4826)

Rivista del servizio minerario nel 1893 (Ministero di agricoltura, industria e commercio : direzione generale dell' agricoltura). Rome, tip. G. Bertero. In-8°, cvj-279 p. 2f,50. (7734)

Studio sulle condizioni di sicurezza delle miniere e delle cave in Italia (Ministero di agricoltura, industria e commercio : direzione generale dell' agricoltura). Rome, tip. G. Bertero. In-8°, 293 p. av. fig. 3 fr. (8647)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Costruttore (Il) : trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell' ingegnere civile ed industriale, dell' architetto, dell' agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4000 incisioni. Disp. 109-120. Milan, F. Vallardi. In-4°, p. 465-720 av. fig. et 10 pl. (5272-9004-9914)

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie : norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 92-101. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4°, p. 17-37; p. 1-24; p. 25-39; p. 201-233; p. 97-136; p. 81-112, 55; p. 137-160; av. fig. et 54 pl. 2 fr. la livraison. (5273-6116-6509-7682-8104-9915)

Ferrando (G.). — Sul progetto dette tramvie elettriche per la città di Palermo, presentato a quel municipio. Gênes, tip. L. Sambolino e figlio. In-4°, 15 p. (6878)

Respighi (L.). — L' impianto di trazione elettrica Siemens e Halske a Genova. Rome, tip. Elzeviriana. In-8°, 19 p. av. fig. (Extr. de l'*Elettricista.*) (4843)

Sicurezza (La) nelle ferrovie (Società macchinisti e fuochisti

ferroviari italiani). Sienne, tip. Cooperativa. In-16, 16 p. 50 cent. (6881)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Albertini (L.). — La questione delle otto ore di lavoro. Turin, fr. Bocca. In-8°, 11 p. (4620)

Asnago (N.). — Les accidents du travail dans l'industrie séricole (Congrès international des accidents du travail à Milan). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 12 p. (8891)

Belloc (L.). — Du travail des femmes et des enfants dans les ateliers, fabriques et dans les mines en Italie (Congr. intern. des accidents du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 44 p. (7548)

Bellom (M.). — État actuel de la question des accidents du travail dans les différents pays (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 31 p. (7549)

Bödiker (Dr). — Du fonctionnement de l'assurance contre l'invalidité et la vieillesse en Allemagne (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 16 p. (7551)

—— De l'influence de l'assurance contre les accidents sur l'amélioration du traitement des blessés et le rétablissement de la capacité du travail (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 9 p. (8399)

Bosellini (A.). — La responsabilità civile ed industriale negli infortuni di lavoro. Parte I. Modène, tip. A. Moneti. In-8°, XXV-141 p. (8402)

Bouquet (L.). — Organisation de l'inspection des fabriques en France et résultats obtenus (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 46 p. (7552)

Cavalieri (E.). — Résultats obtenus par les sociétés de secours mutuels par rapport aux subsides en cas d'accidents (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 20 p. (8894)

Cheysson (E.). — Le musée social (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 14 p. (7977)

—— —— Les diverses combinaisons d'assurances contre les accidents (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 12 p. (9317)

Crespi (S.-B.). — Dei mezzi di prevenire gli infortuni e garantire la vita e la salute degli operai nell' industria del cotone in Italia : memoria. Milan, U. Hoepli. In-8°, 97 p. av. fig. 2f,50. (8404)

Dejace (C.). — La faute lourde en matière d'accidents du travail (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 37 p. (8896)

Delafond (F.). — Des mesures préventives contre les accidents dans les mines et des résultats obtenus (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 26 p. (7553)

Délas y Miralles (J.-M.). — État de la question des accidents du travail en Espagne (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 14 p. (9797)

Drage (G.). — La responsabilité des patrons en Angleterre (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 34 p. 8 pl. (8897)

Durrer (J.). — De l'organisation et des résultats de la statistique suisse des accidents, du 1er avril 1888 au 31 mars 1891 (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 21 p. (8405)

Fière (L.). — L'assurance sociale : rapport au congrès international des accidents du travail et des assurances sociales, à Milan. Milan, tip. Golio. In-8°, 8 p. (8899)

Fontaine (A.). — Données statistiques tirées du fonctionnement des assurances ouvrières contre les accidents, charges correspondantes, avec une note succincte sur l'assurance-maladie (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 56 p. (7556)

Franklin (W.-W.). — Statistique des accidents des employés des chemins de fer aux États-Unis (Congr. intern. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 15 p. (8901)

Gobbi (U.). — Importance de l'assurance individuelle et concours des institutions de bienfaisance pour en favoriser l'application (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 7 p. (9800)

Infortuni (Gli) sul lavoro nelle costruzioni edilizie, per cura del collegio dei capomastri di Milano (Congr. int. des acc. du travail). Milan, tip. H. Reggiani. In-8°, 6 p. (9803)

Kaan (J.). — Du fonctionnement des assurances en Autriche (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 21 p. (9804)

Keppen (A. de). — État actuel de la question des accidents du travail en Russie (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 18 p. (7559)

Legge sulla polizia delle miniere, cave e torbiere 30 marzo 1893. Naples, In-16°, 7 p. 0f,20. (Extr. de la *Gazetta ufficiale.*) (4830)

Lindstedt (A.). — Le projet de loi suédois concernant les recettes-indemnités pour les ouvriers (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 5 p. (9325)

Luzzatti (L.). — Avantage du libre choix de l'assureur en cas d'assurance obligatoire; opportunité d'organiser, mais non d'imposer, des caisses officielles ayant pour mission de servir de type, au triple point de vue de la solvabilité, de l'économie et de la rapidité des règlements; du rôle réservé dans cet ordre d'idées aux caisses nationales constituées par les caisses d'épargne. Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 17 p. (9806)

Magaldi (V.). — État des travaux législatifs en Italie pour la protection des ouvriers et l'assurance contre les accidents du travail (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 59 p. (9328)

Mamy (H.). — Moyens préventifs nouveaux contre les accidents du travail résultant des concours ouverts par l'association des industriels de France contre les accidents du travail (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 18 p., 2 pl. (8410)

Mayr (G. von). — Relation entre l'assurance contre les accidents et le nombre des accidents (Congr. internat. des accidents du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 25 p. (9809)

Moser. — L'assurance contre les maladies et les accidents en Suisse : portée économique des projets de loi (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 26 p. (7987)

Olry (A.). — Résultats obtenus par les associations instituées en vue de prévenir les explosions des chaudières (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 34 p. (7566)

Pellati (N.). — Des mesures préventives contre les accidents du travail dans les mines et des résultats obtenus (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 8 p. (8913)

Perelli (G.). — A propos des règlements pour la surveillance des chaudières à vapeur (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 14 p. (7991)

Pesaro (G.). — Des systèmes et des mécanismes adoptés dans les divers pays pour prévenir les accidents du travail (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 39 p. (8914)

Piazzi (G.). — Patronats pour les accidents du travail (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 11 p. (9337)

Pisa (U.). — Relation sur la prévoyance pour les accidents du travail en Italie 1882-1889. Deuxième édition avec un résumé de l'activité du « Patronato d'assicurazione e soccorso per gli infortunî del lavoro » depuis le 31 decembre 1888 au 31 décembre 1893 (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 50 p. (7992)

Rapport au troisième congrès international sur les accidents du travail présenté par les administrations des chemins de fer italiens de la Méditerranée et de l'Adriatique. Milan, imp. J. Civelli. In-8°, 62 p. (8417)

Rostand (E.). — De l'assurance contre le chômage involontaire (Congr. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 20 p. (7994)

Westerouen van Meeteren (F. W.). — L'Assurance obligatoire (Cong. int. des acc. du travail). Milan, imp. H. Reggiani. In-8°, 9 p. (7996)

9° *Objets divers.*

Cordaro (A.). — La crisi solfifera : provvedimenti opportuni. Catane, tip. Barbagallo e Scuderi. In-8°, 10 p. (8128)

Erede (G.). — Elementi di topografia, con un' appendice sulle applicazioni della topografia secondo i programmi degli istituti tecnici dell' ingegnere *G. Giuliani*. Terza edizione riveduta e notevolmente aumentata dall' autore. Florence, R. Bemporad e figlio. In-8°, xiiij-438 p. av. fig. et 37 pl. 8 fr. (5205)

Faccioli (A.). — Teoria del volo e della navigazione aerea : ricerche sperimentali sulla resistenza dell' aria; teoria dell' elice e del timone. Milan, U. Hoepli. In-8°, viij-309 p. av. fig. 6f,50. (7719)

Finotti (G.). — Il primato italiano nelle invenzioni meccaniche e nelle scienze sperimentali : studio. Caserta, tip. A. Saccone. In-8°, 32 p. (7639)

Molina (R.). — Esplodenti e modo di fabricarli. Milan, U. Hoepli. In-16°, xx-300 p. (5704)

Rigobon (P.). — Sul commercio degli zolfi : monografia di pratica commerciale. Venise, tip. G. Draghi. In-4°, 52 p. 2 fr. (8634)

Tioli (L.). — Le acque minerali e termali del regno d'Italia. Milan. In-8°, xxiv-540 p. 5f,50.

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1894, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the Franklin Institute. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — American philosophical Society. *Philadelphie.*
4. — Royal Society of London.
5. — The quarterly Journal of the Geological Society. *Londres.*
6. — Institution of civil Engineers. *Londres.*
7. — Royal Irish Academy. *Dublin.*
8. — Societa Toscana di Scienze naturali. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Milan.*
10. — Société de physique et d'histoire naturelle de Genève.
11. — Société géologique de France. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — Soc. d'encouragement pour l'industrie nationale. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — Kaiserlich-Königliche Geologische Reichsanstalt. *Vienne.*
17. — Royal geological Society of Cornwall. *Penzance.*
18. — The Colliery Guardian and Journal of the Coal and Iron Trades. *Londres.*
19. — Royal Society of Edinburgh. *Édimbourg.*
20. — Société de l'industrie minérale. *Saint-Étienne.*
21. — Smithsonian Institution. *Washington.*
22. — Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Brunswick.*
24. — Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereins. *Vienne.*
25. — Sociedad cientifica Argentina. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift des Architekten und Ingenieur-Vereins zu Hannover. *Hanovre.*
27. — Geological Survey of India. *Calcutta.*

28. — Berg-und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — Société industrielle de Mulhouse.
30. — Société Chimique de Paris.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. *Berlin.*
33. — Société des Ingénieurs civils. *Paris.*
34. — Bureau Central Météorologique de France. *Paris.*
35. — Boston Society of Natural History. *Boston.*
36. — Société linnéenne de Normandie. *Caen.*
37. — Comité géologique de la Russie. *St-Pétersbourg.*
38. — Industries and Iron. *Londres.*
39. — Königliche Ungarische geologische Anstalt. *Bude-Pesth.*
40. — The Journal of the Iron and Steel Institute. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — Literary and Philosophical Society of Manchester.
44. — Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Bergakademien zu Leoben und Przibram und der Kön. Ungar. Bergakademie zu Schemnitz. *Vienne.*
45. — Oesterr. Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — American Institute of Mining Engineers. *Easton* (*Pensylvanie*).
48. — Reale Accademia dei Lincei. *Rome.*
49. — American chemical Society. *New-York.*
50. — Academy of natural Sciences of Philadelphia.
51. — Comision del Mapa geologico de Espana. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — Midland Institute of mining, civil and mechanical Engineers. *Barnsley* (*Yorkshire*).
54. — L'Électricien, revue générale d'électricité. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*
56. — Le Génie civil. *Paris.*
57. — Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
58. — Annales de la Société géologique de Belgique. *Liège.*
59. — United States geological Survey. *Washington.*
60. — Institut royal géologique de Suède. *Stockholm.*
61. — Canadian Institute. *Toronto.*
62. — Revue de la législation des mines. *Paris.*
63. — Section des travaux géologiques du Portugal. *Lisbonne.*

64. — Second geological survey of Pennsylvania. *Philadelphie.*
65. — K.K. Naturhistorischer Hofmuseum. *Vienne.*
66. — College of Science, Imperial University, Japan. *Tokyo.*
67. — Kais. Leopoldinisch-Carolinische deutsche Akademie der Naturforscher. *Halle-sur-Saale.*
68. — Annales de la Faculté des sciences de Toulouse.
69. — New-York Akademy of sciences. *New-York.*
70. — Institution of Mechanical Engineers. *Londres.*
71. — Department of Mines of Victoria. *Melbourne.*
72. — Department of Mines of New South Wales. *Sydney.*
73. — Revue générale des sciences pures et appliquées. *Paris.*
74. — The School of Mines Quarterly. *New-York.*
75. — Geological and Natural History Survey of Canada. *Ottawa.*
76. — La Réforme sociale. *Paris.*
77. — Société internationale des Électriciens. *Paris.*
78. — Bulletin of the Geological Society of America. *Rochester (N. Y.).*
79. — Commission internationale du Congrès des chemins de fer. *Bruxelles.*
80. — Association amicale des élèves de l'École supérieure des mines. *Paris.*
81. — Zeitschrift für praktische Geologie. *Berlin.*
82. — The Journal of Geology, Univ. of Chicago.
53. — Bulletin of the Department of Geology, Univ. of California. *Berkeley.*
84. — Bulletin de l'Association des ingénieurs-électriciens sortis de l'Institut électro-technique Montefiore. *Liège.*

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SIXIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Page s

Étude sur le soulèvement lent actuel de la Scandinavie; par M. *A. Badoureau*. 239
Description géologique de la région des phospliates du Dyr et du Kouif, près Tébessa; par M. *Blayac* 319
Note sur les lambeaux suessoniens à phosphate de chaux de Bordj Redir et du Djebel Mzeïta, près Bordj-bou-Arréridj (province de Constantine); par M. *Blayac*. 331

EXPLOITATION DES MINES. — GITES MINÉRAUX.

Les plans inclinés aériens de la Société d'exploitation de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie; par M. *Babu* . . 593

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1892 par les ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux. 276
Note sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité; par M. *Lebreton*. 289
Analyses des eaux minérales françaises exécutées au bureau d'essai de l'École des mines; par M. *Ad. Carnot*. 355
Note sur un mode de graduation des éprouvettes à grisou; par M. *Rateau*. 504
Emploi de l'eau oxygénée dans le dosage pondéral et volumétrique du chrome et du manganèse; par M. *Ad. Carnot*. 550

MÉCANIQUE. — MACHINES.

Précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des tubes indicateurs du niveau de l'eau des chaudières à vapeur; par M. *C. Walckenaer*. 511

Pages.

De quelques mesures propres à augmenter la sécurité de l'emploi des chaudières à petits éléments; par M. *C. Walckenaer*. 534
Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1893 646

CHEMINS DE FER.

Étude théorique et pratique des locomotives compound; par M. *Nadal* 5
Étude expérimentale sur la vaporisation dans les chaudières de locomotives faite dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, sous la direction de M. *A. Henry*. 119

LÉGISLATION. — ÉCONOMIE SOLIALE.

Note sur le régime de la propriété et de l'exploitation des mines en Angleterre, d'après une enquête récente; par M. *L. Aguillon*. 465

OBJETS DIVERS.

Discours prononcés aux funérailles de M. Ernest Mallard, membre de l'Institut, inspecteur général des mines, le 9 juillet 1894 :

Discours de M. *Daubrée*. 303
Discours de M. *Linder*. 308
Discours de M. *Haton de la Goupillière* 313
Discours de M. *Michel Lévy*. 316

BULLETIN.

Richesses minérales du Nicaragua. 115
Statistique de l'industrie minérale de l'Allemagne et du Luxembourg pour 1893. 235
Production minérale et métallurgique des Iles-Britanniques pendant l'année 1893. 236
Statistique de l'industrie minérale du Canada pour 1893. 238

Pages.

Règles pour la construction des vis mécaniques, établies par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. 338
Les minerais d'argent de Milo; par M. *L. de Launay*. 345
Statistique de l'industrie minérale de l'Espagne en 1892-1893. 354
Expériences sur la résistance des foyers cylindriques 458
Statistique de l'industrie minérale de la Bavière en 1893. 461
Statistique de l'industrie minérale de l'Italie en 1893 462
Statistique de l'industrie minérale des États-Unis en 1892 et en 1893. . . . 463
Statistique de l'industrie minérale de l'Autriche en 1893. 584
Note sur les conditions économiques des mines de soufre en Italie. . . . 585
Alimentation sur les tôles de chaudières chauffées au rouge. 664

Législation étrangère.

Italie. Loi du 30 mars 1893 et règlement du 14 janvier 1894 sur la police des mines, carrières et tourbières. 588

BIBLIOGRAPHIE.

Deuxième semestre de 1894.

Ouvrages français 668
Ouvrages anglais. 685
Ouvrages américains. 691
Ouvrages suisses. 693
Ouvrages allemands. 693
Ouvrages russes. 700
Ouvrages danois. 700
Ouvrages italiens 700

Liste des échanges autorisés entre les *Annales des mines* et les publications françaises et étrangères. 714

ERRATUM

Page 276, ligne 2, *au lieu de :* EXÉCUTÉS EN 1891,
lire : EXÉCUTÉS EN 1892.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME SIXIÈME.

Pl. I et II. — Étude théorique et pratique des locomotives compound.

Pl. III à XIII. — Étude expérimentale de la vaporisation dans les chaudières de locomotives faite dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Pl. XIV. — Étude sur le soulèvement lent actuel de la Scandinavie.

Pl. XV, *fig.* 1 à 6. — Description géologique de la région des phosphates du Dyr et du Kouif près Tébessa.

Pl. XV, *fig.* 7 à 10. — Note sur les lambeaux sucssoniens à phosphate de chaux de Bordj Redir et du Djebel Mzeïta, près Bordj bou Arréridj (province de Constantine).

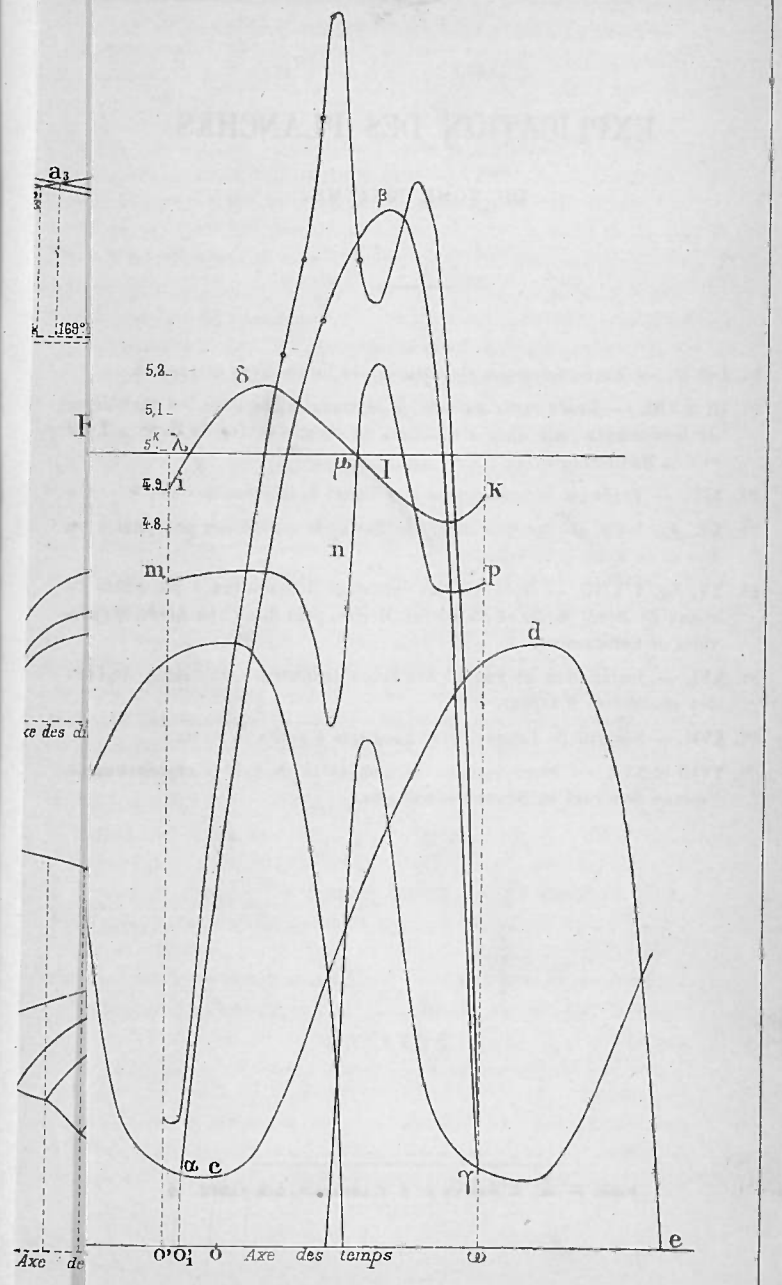
Pl. XVI. — Installation et emploi des tubes indicateurs du niveau de l'eau des chaudières à vapeur.

Pl. XVII. — Sécurité de l'emploi des chaudières à petits éléments.

Pl. XVIII et XIX. — Plans inclinés aériens de la Société d'exploitation de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Fig. 8.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.

Fig. 1.

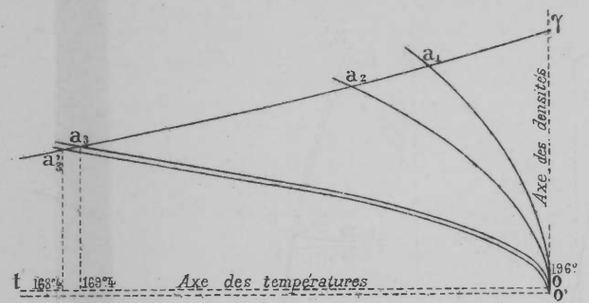


Fig. 2.

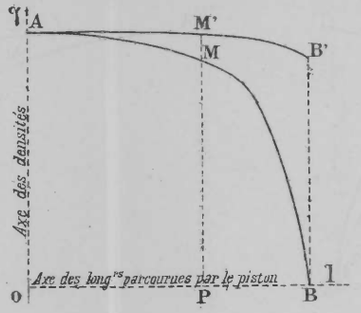


Fig. 3.

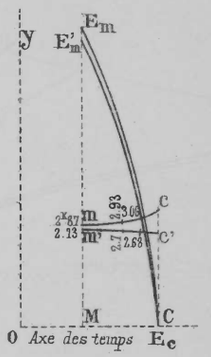


Fig. 4

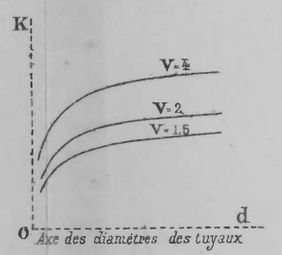


Fig. 5.

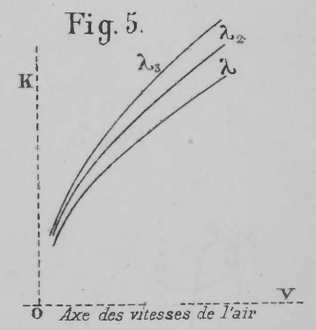


Fig. 6.

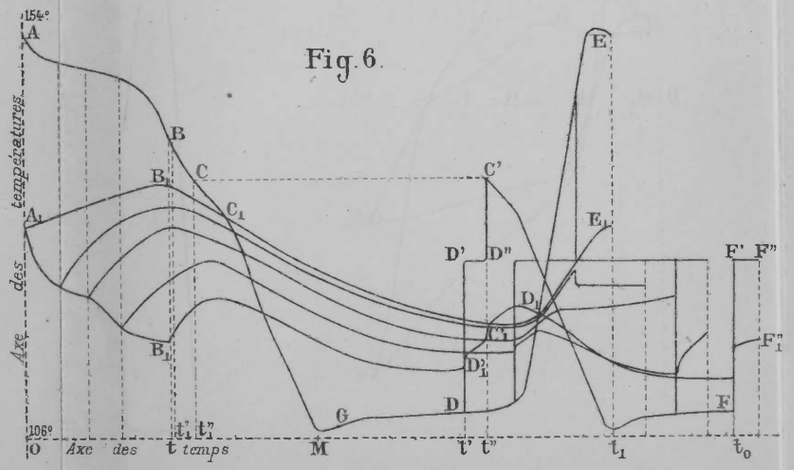


Fig. 7.

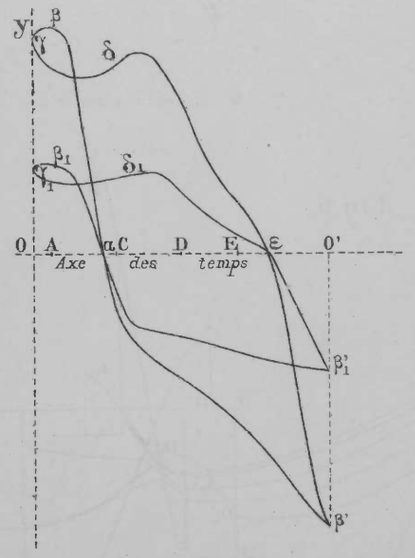
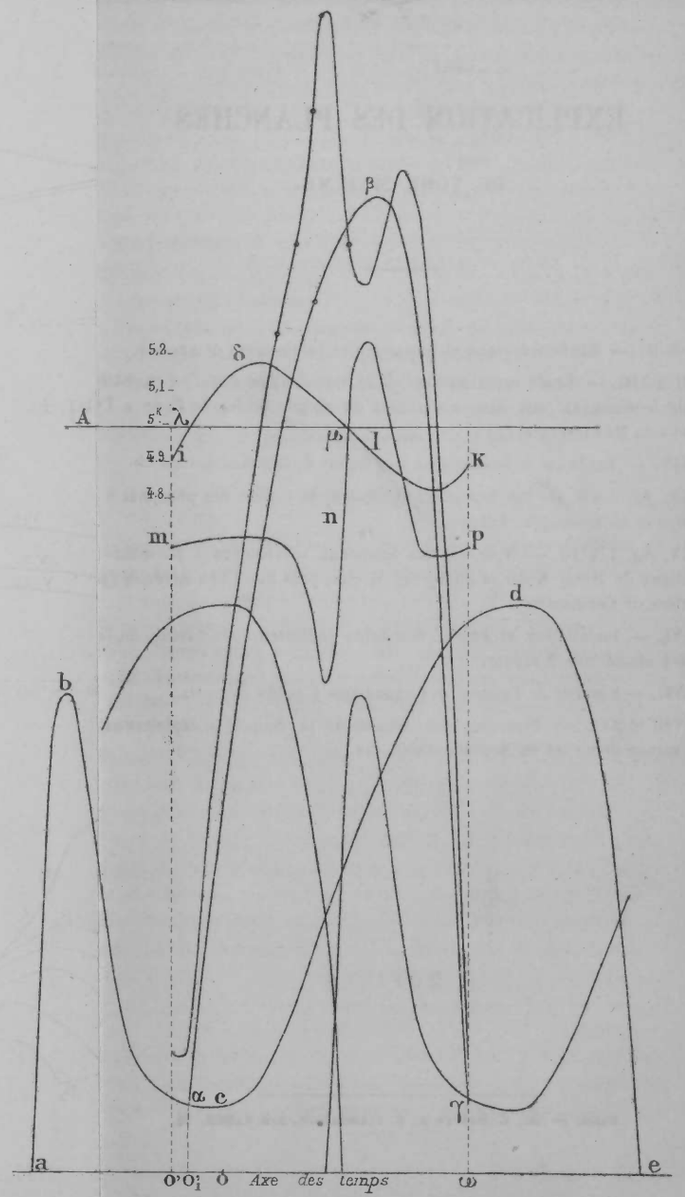


Fig. 8.



Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 5 et suivantes.

(9137)

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.

Fig. 9.

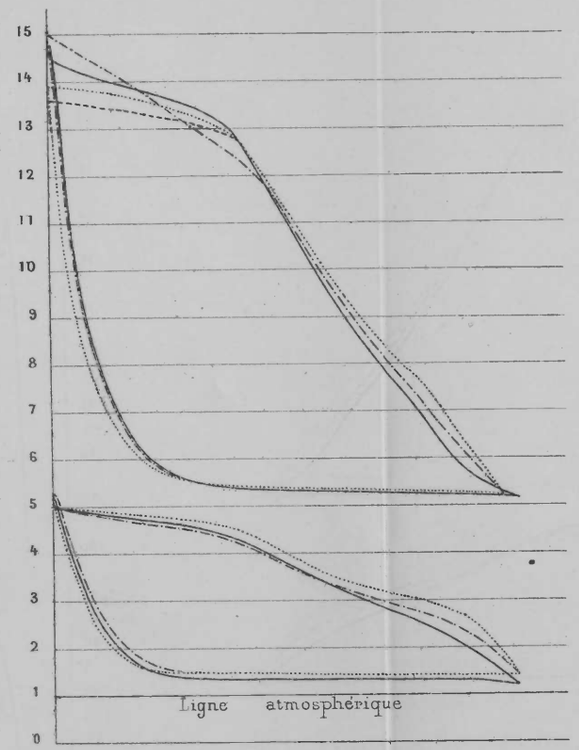


Fig. 10.

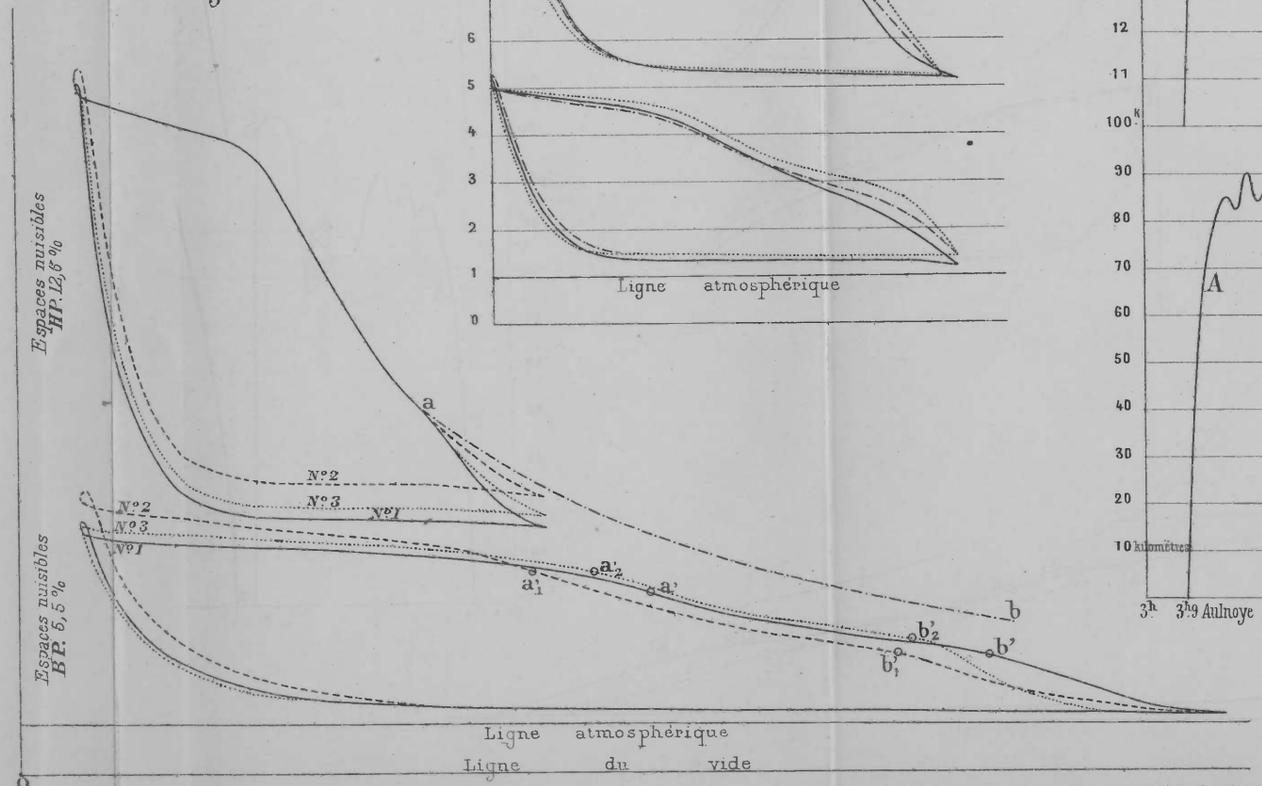
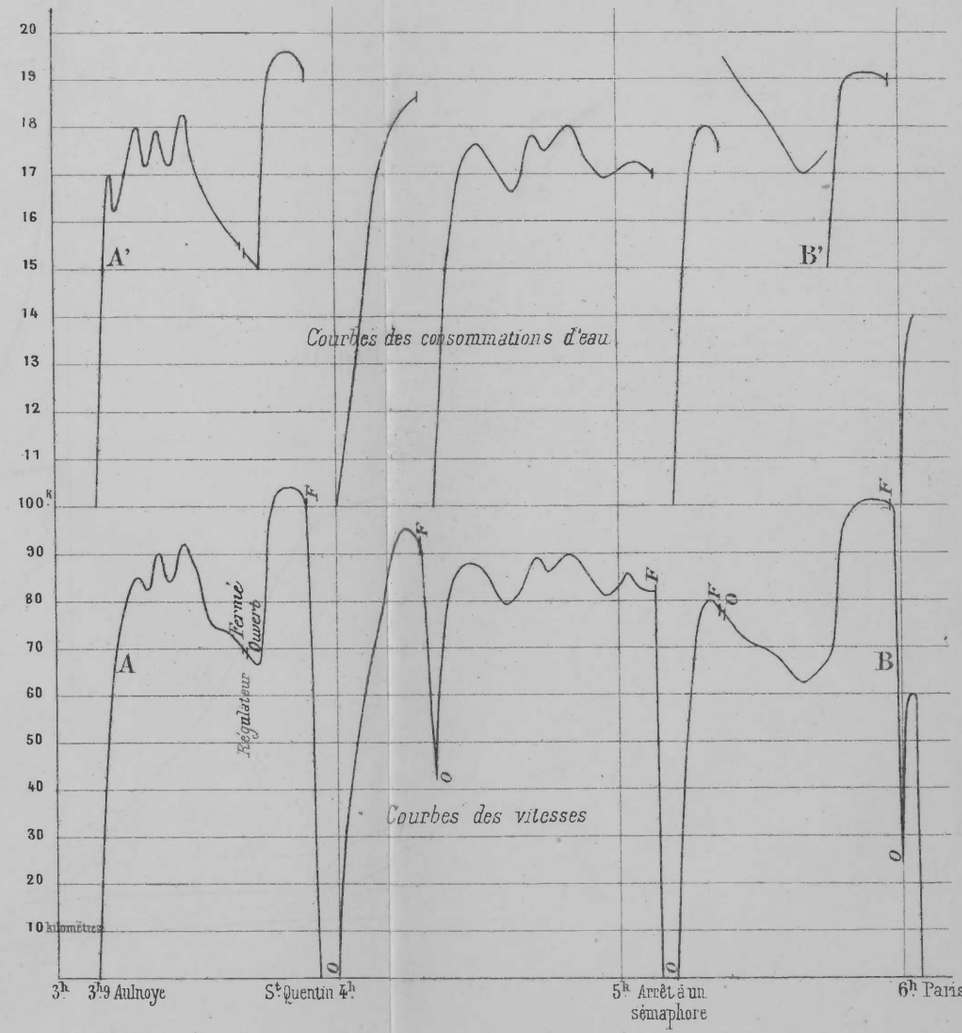


Fig. 11.



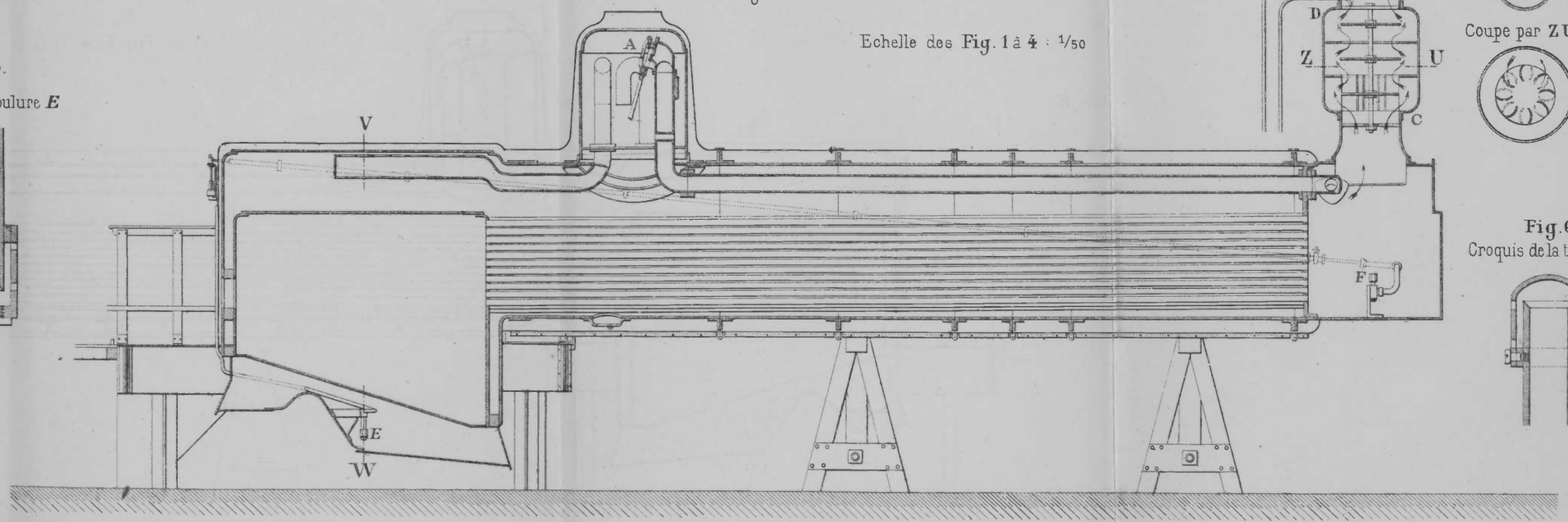
Annales des Mines, 9e Série, Tome VI pages 5 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Chaudière d'expériences.

Fig. 1. Coupe longitudinale de la chaudière avec foyer ordinaire

Echelle des Fig. 1 à 4 : 1/50



Coupe par XY

Coupe par ZU

Fig. 5.
Croquis de la tubulure *E*

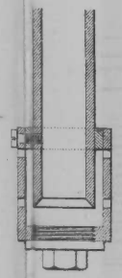


Fig. 6.
Croquis de la tubulure *F*

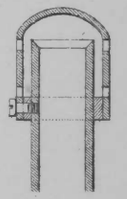


Fig. 1. *(Suite)*
Coupe par V W

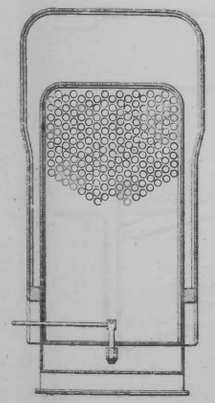


Fig. 2.
Coupe longitudinale du foyer avec voûte en briques longue

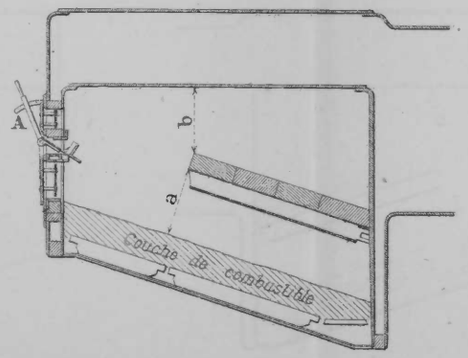


Fig. 3.
Coupe longitudinale du foyer avec voûte en briques courte

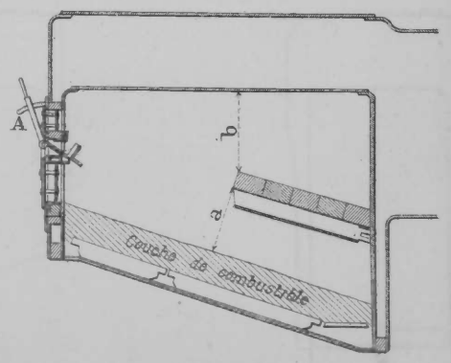
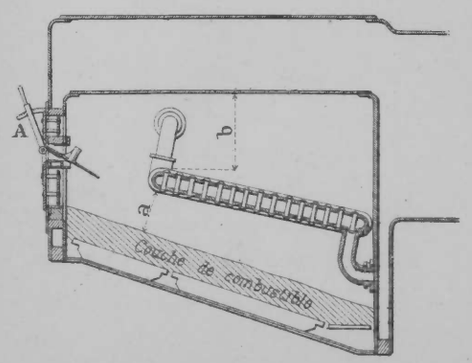


Fig. 4.
Coupe longitudinale du foyer avec bouilleur Tenbrink



Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Appareils d'expériences.

Fig. 1.
Ensemble des appareils installés pour mesurer la proportion d'eau entraînée par la vapeur

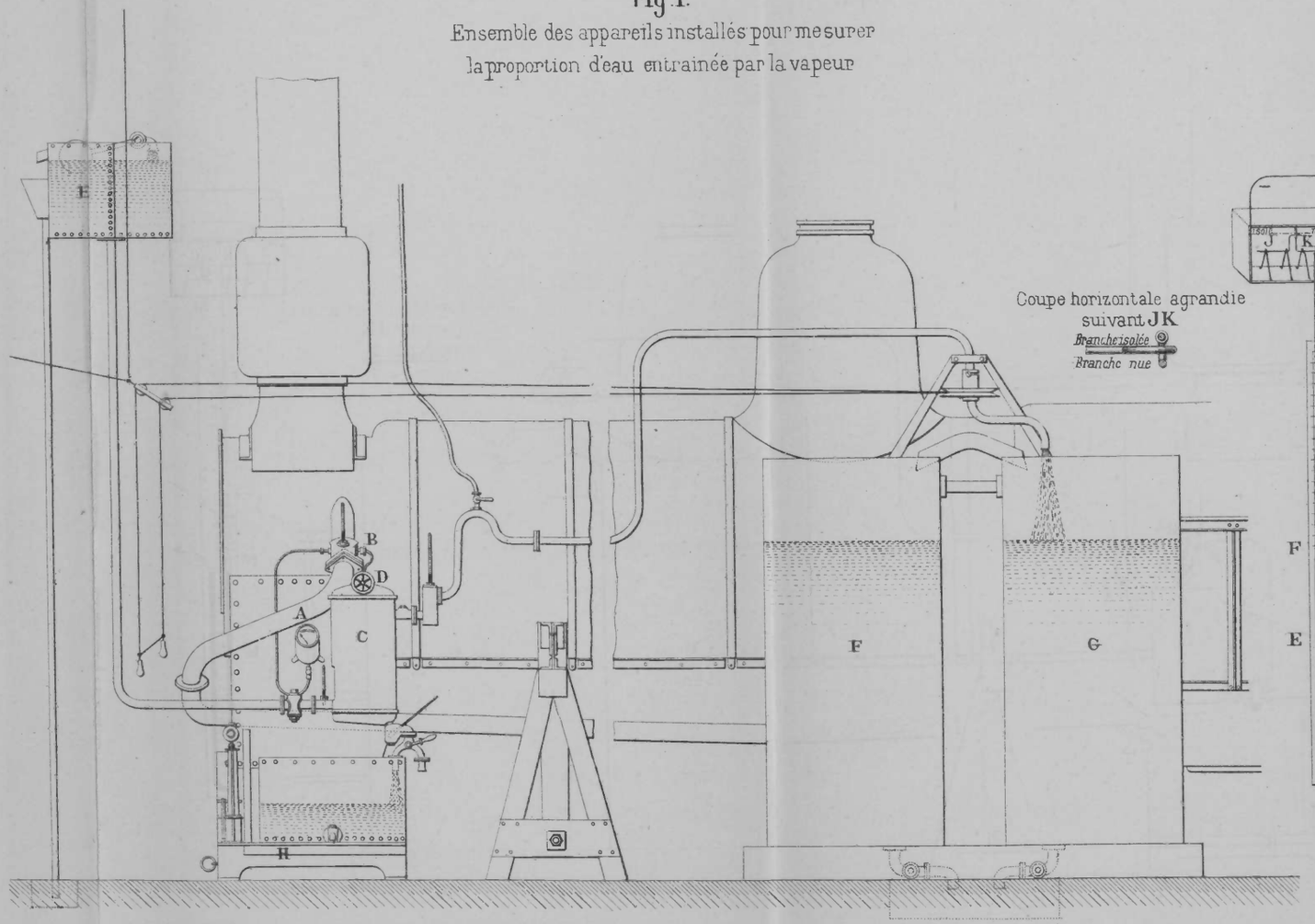
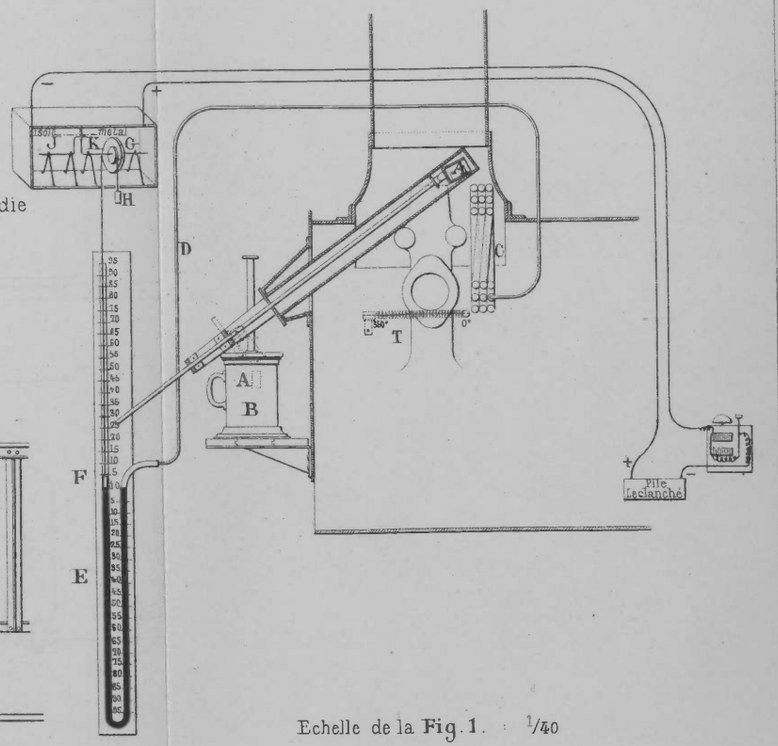


Fig. 2.
Ensemble des appareils installés pour mesurer la température des gaz dans la boîte à fumée



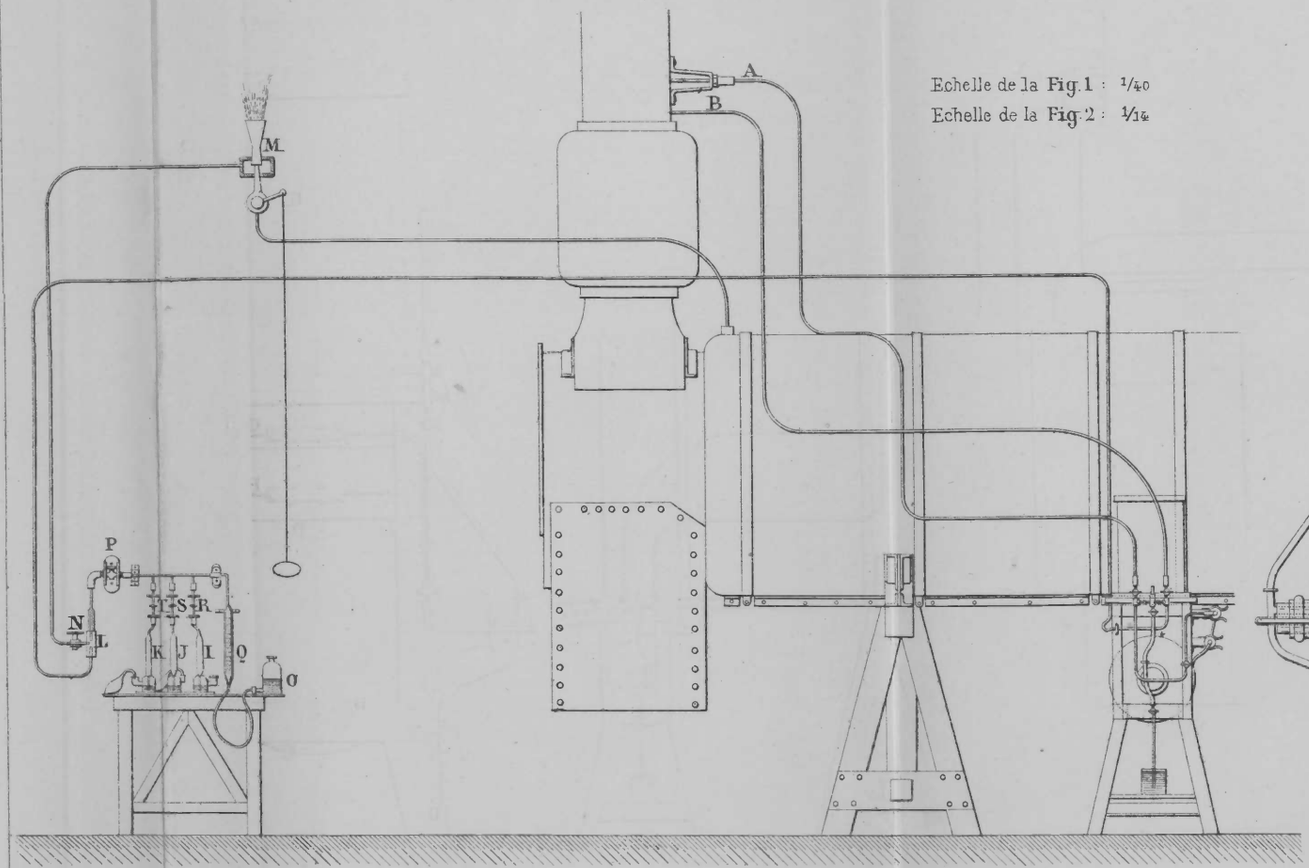
Echelle de la Fig. 1. : 1/40
Echelle de la Fig. 2. : 1/30

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Appareils d'expériences.

Fig. 1. Ensemble des appareils installés pour la prise de gaz dans la boîte à fumée et pour leur analyse rapide par l'appareil Orsat



Echelle de la Fig. 1 : 1/40
Echelle de la Fig. 2 : 1/10

Fig. 2. Détail de l'appareil adopté pour faire la prise de gaz dans la boîte à fumée

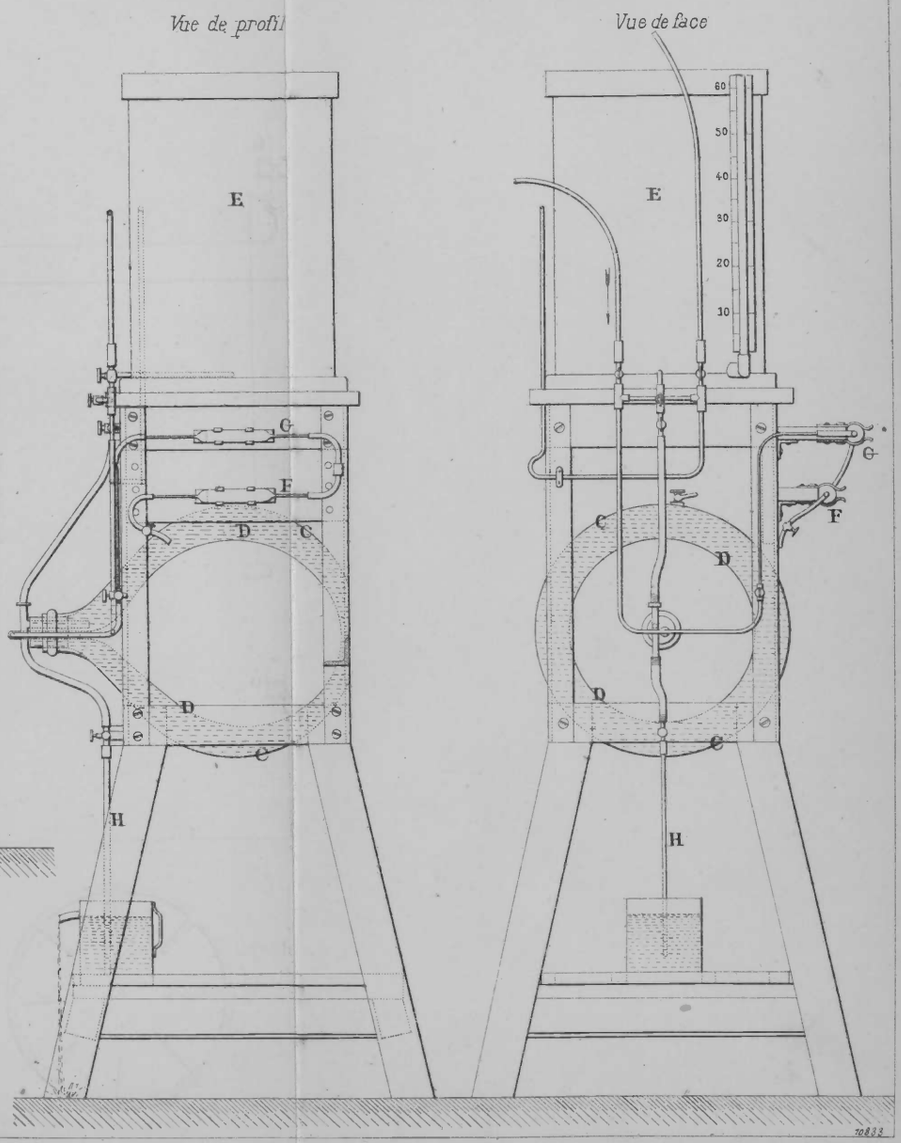


Fig. 3. Tubes à ailettes de 65 millimètres

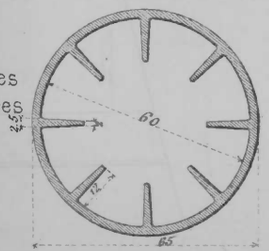
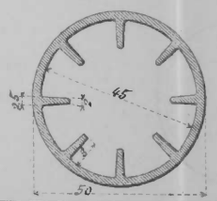


Fig. 4. Tubes à ailettes de 50 millimètres



Echelle des Fig. 3 et 4 : 1/2 grandeur

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes lisses en laiton de 50 millimètres de diamètre.

Combustible brûlé par heure.

Fig.1.
Foyer ordinaire

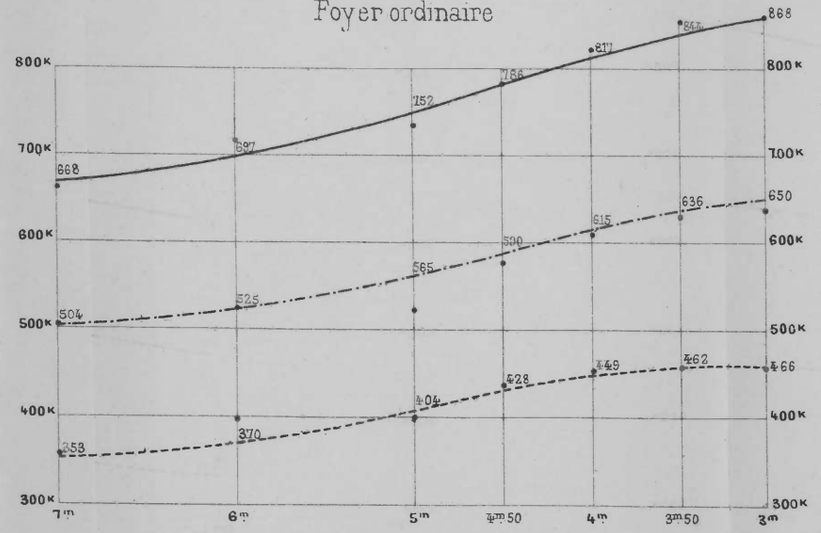
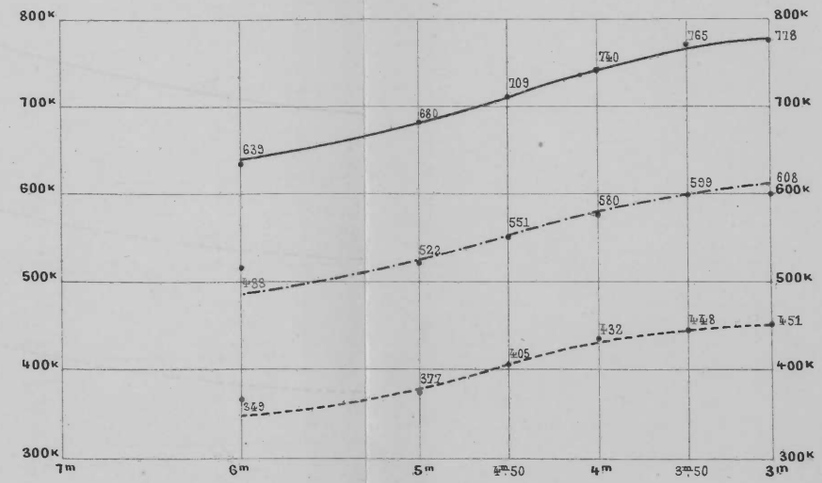


Fig.2.
Voûte courte



Légende

Tirage de 25m/m
Tirage de 45m/m
Tirage de 15m/m

Fig.3.
Voûte longue

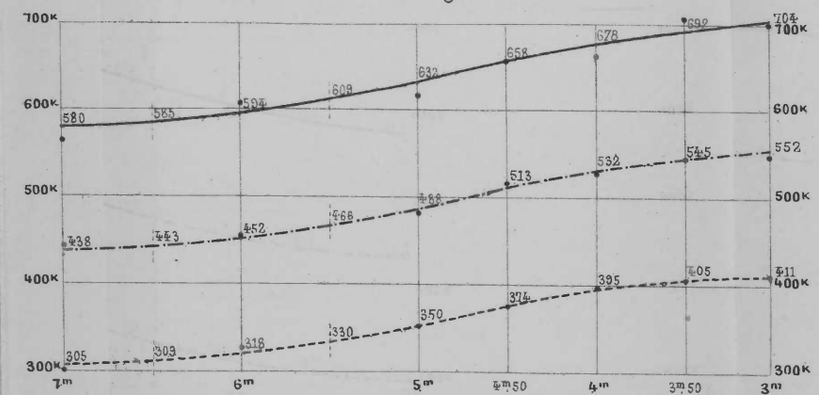
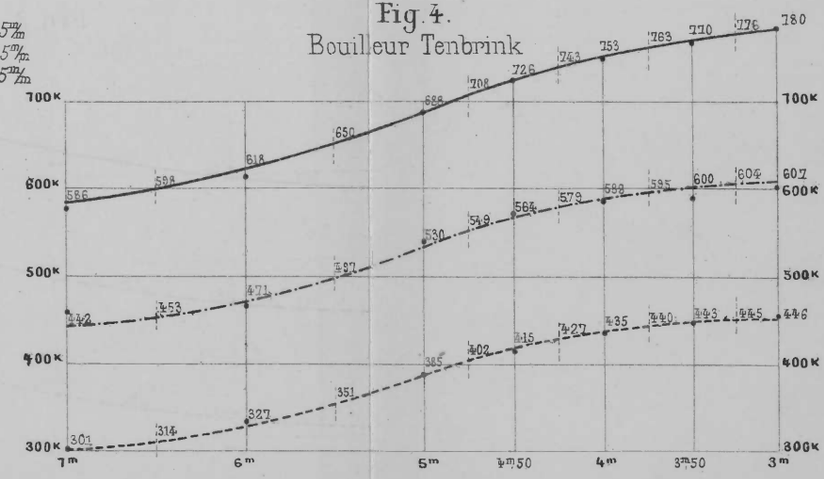


Fig.4.
Bouilleur Tenbrink



Abscisses : *Longueurs des tubes* ..... Echelle de 0m025 pour 1 mètre
Ordonnées : *Combustible brulé par heure* ..... Echelle de 0m0125 pour 100 Kilogs

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes lisses en laiton de 50 millimètres de diamètre.

Eau vaporisée par heure.

Fig. 1.
Foyer ordinaire

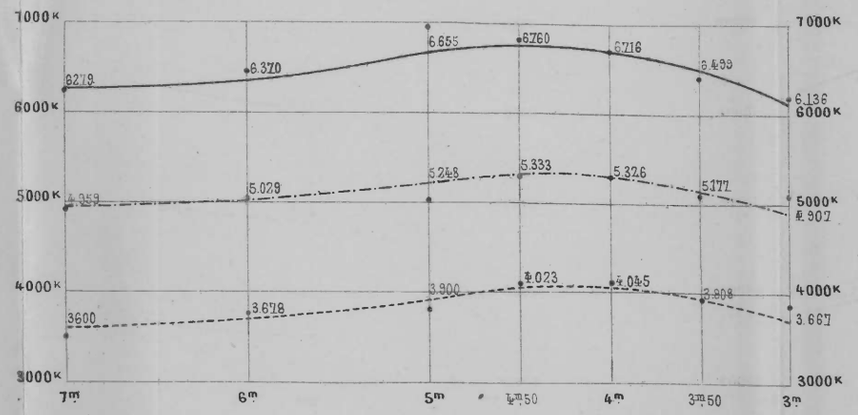
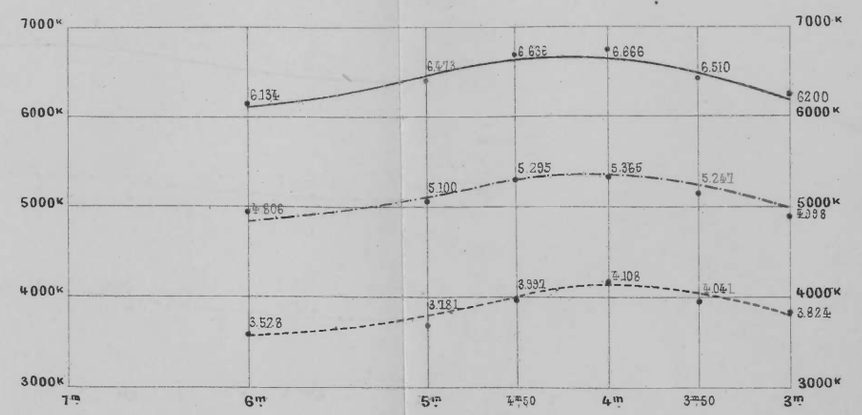


Fig. 2
Voûte courte



Légende

Tirage de 25m/m
Tirage de 45m/m
Tirage de 75m/m

Fig. 3.
Voûte longue

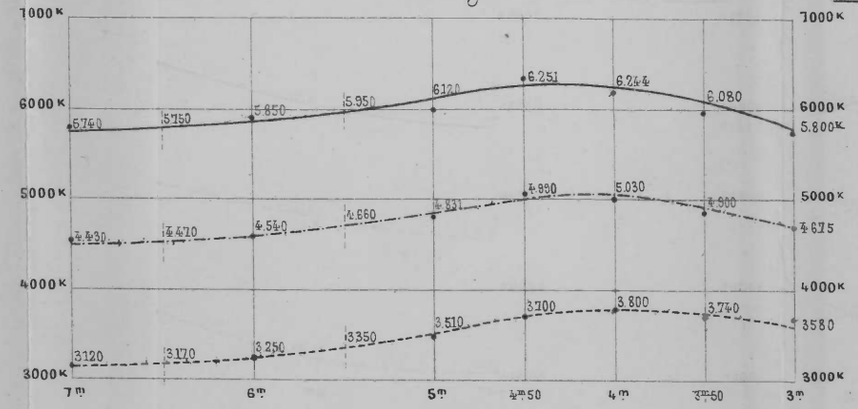
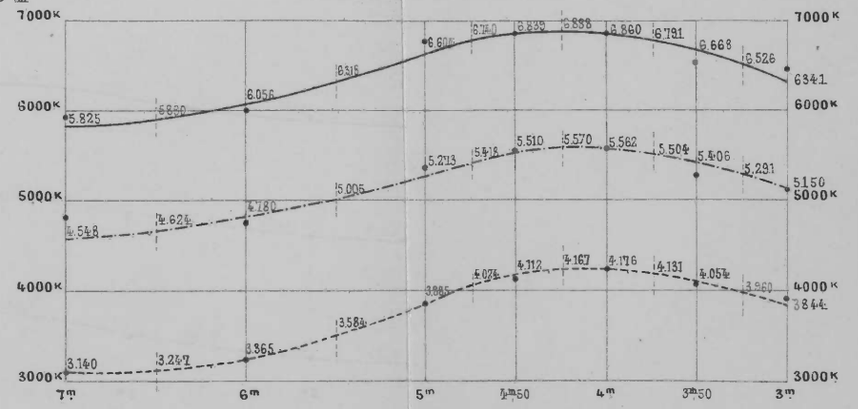


Fig. 4
Bouilleur Tenbrink



Abscisses : *Longueur des tubes* ..... Echelle de 0m025 pour 1 mètre
Ordonnées : *Eau vaporisée par heure* ..... Echelle de 0m0125 pour 1000 Kilogs

m835

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes lisses en laiton de 50 millimètres de diamètre.

Eau vaporisée par kilog. de combustible brut.

Fig. 1.
Foyer ordinaire

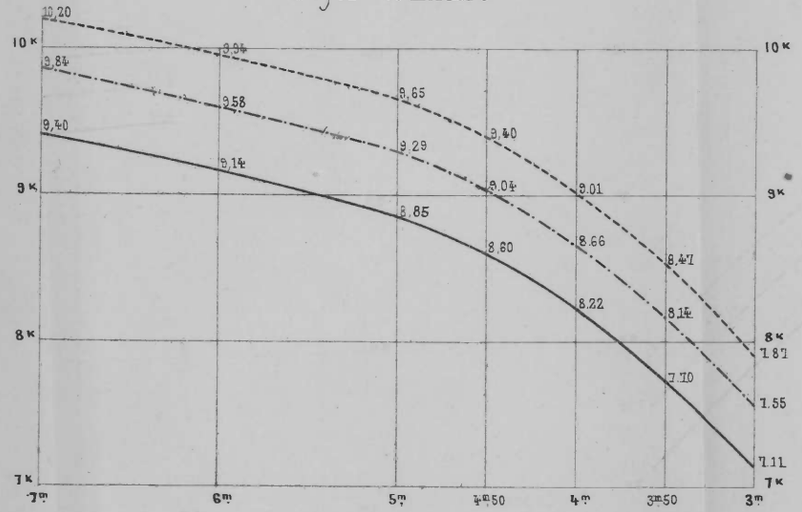
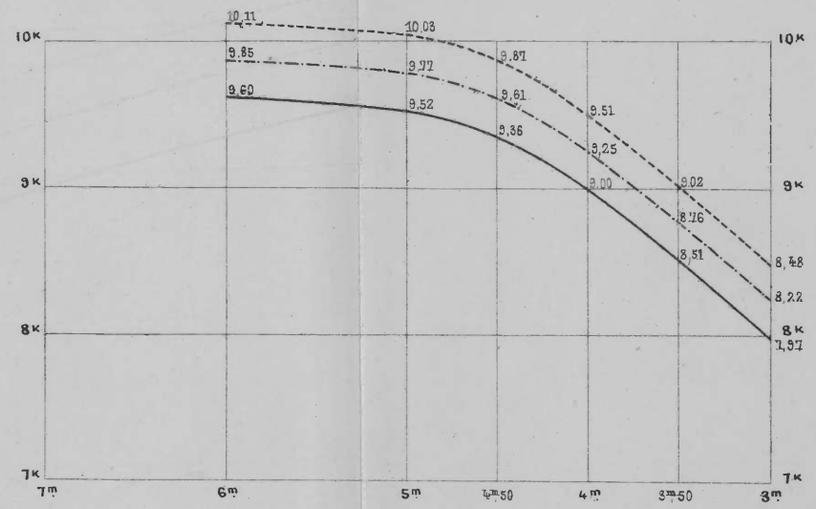


Fig. 2.
Voûte courte



Légende

Tirage de 25 m/m
Tirage de 45 m/m
Tirage de 75 m/m

Fig. 3.
Voûte longue

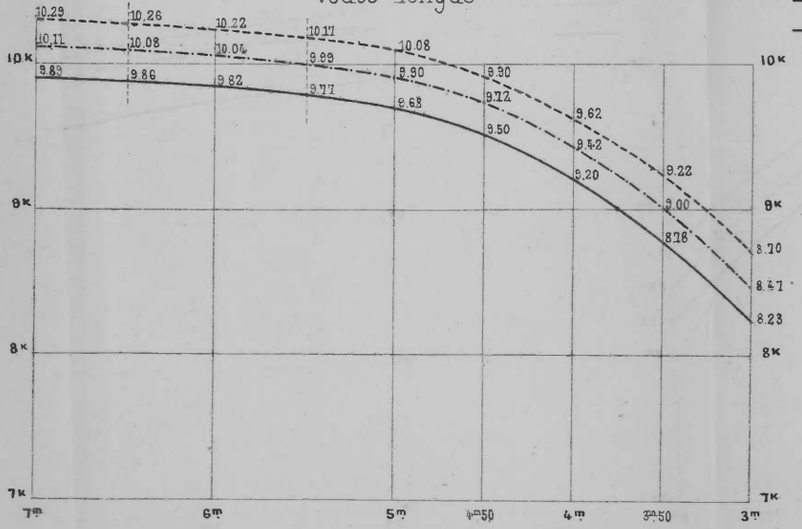
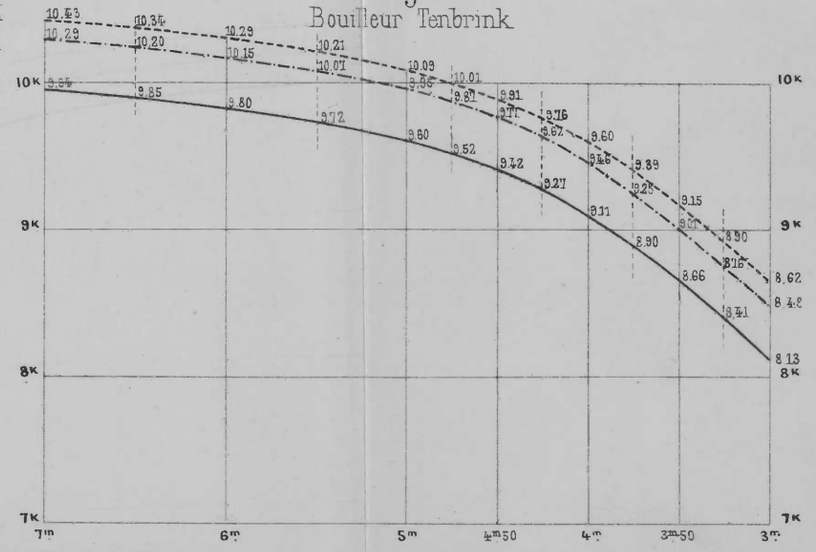


Fig. 4.
Bouilleur Tenbrink.



Abscisses : *Longueurs des tubes* ..... Echelle de 0m025 pour 1 mètre
Ordonnées : *Eau vaporisée par kilog de combustible brut* ..... Echelle de 0m020 pour 1 Kilog

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes lisses en laiton de 50 millimètres de diamètre.

Températures moyennes dans la boîte à fumée.

Fig. 1.
Foyer ordinaire

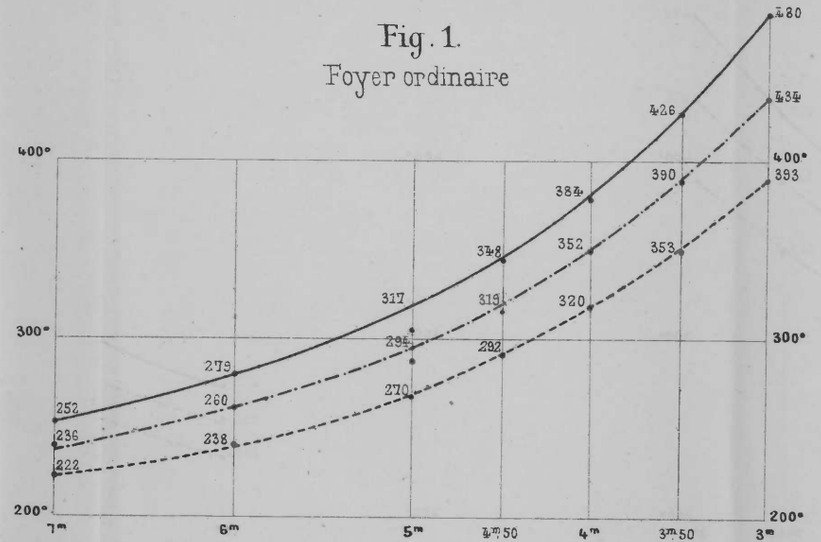
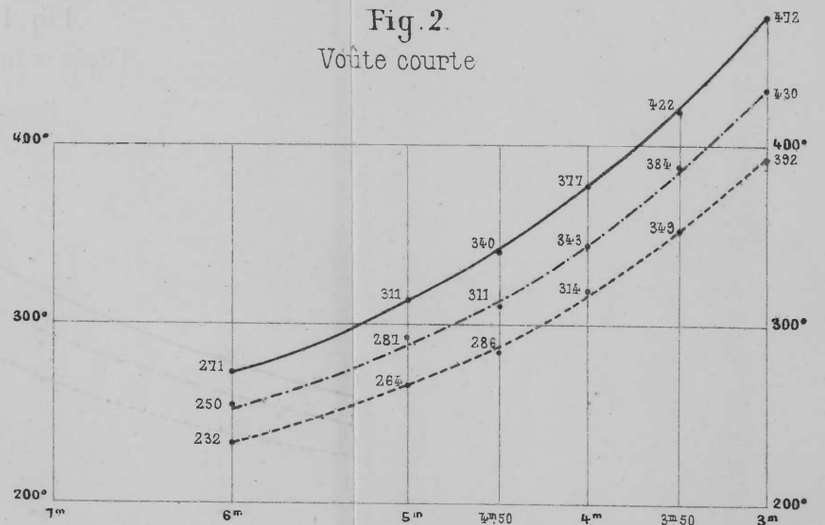


Fig. 2.
Voûte courte



Légende

------ Tirage de 25m/m
-.-.-.- Tirage de 45m/m
——— Tirage de 75m/m

Fig. 3.
Voûte longue

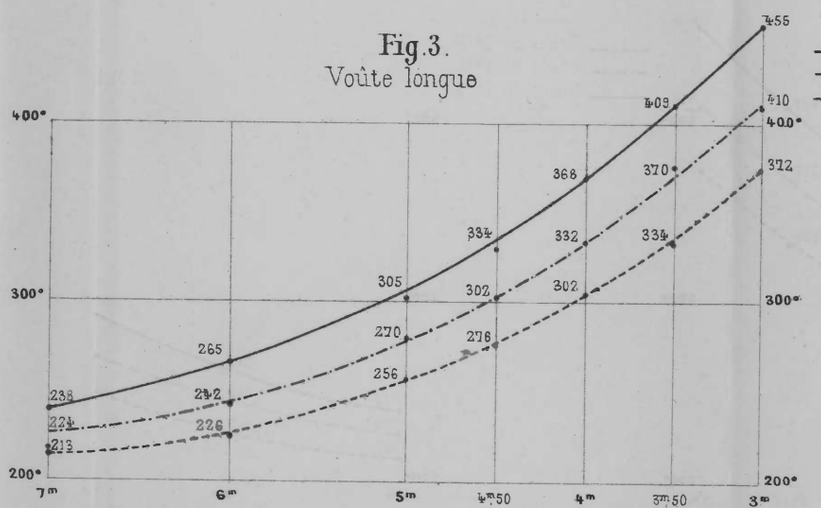
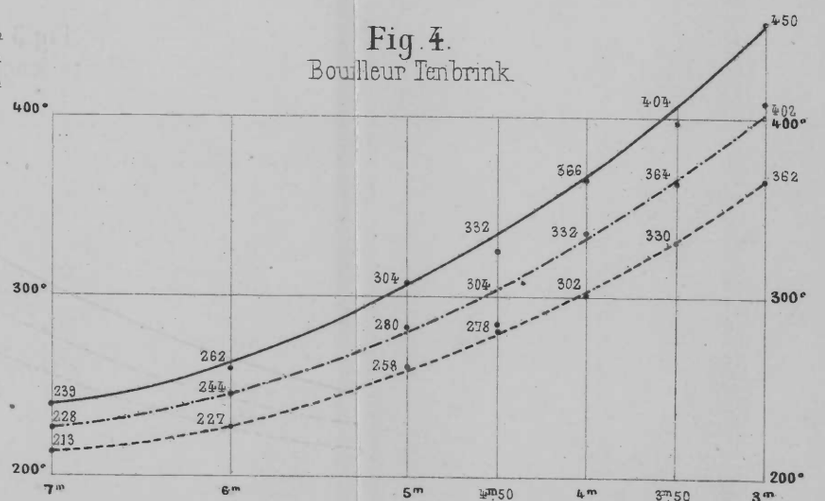


Fig. 4.
Boulleur Tenbrink.



Abscisses : *Longueurs des tubes* ..... Echelle de 0m,025 pour 1 mètre

Ordonnées : *Températures moyennes dans la boite à fumée* : Echelle de 0m,025 pour 100 degrès

10834

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

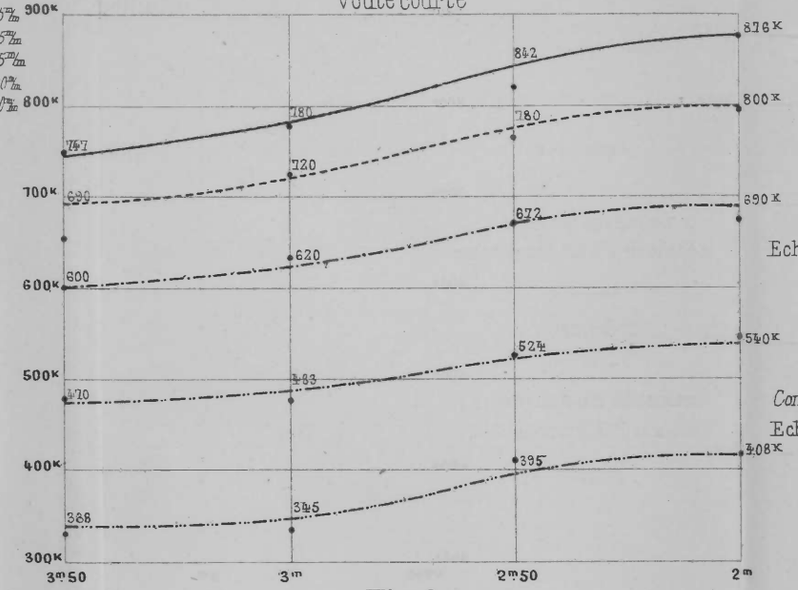
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes en laiton à ailettes de 50 millimètres de diamètre.

Légende

Tirage de 25mm
Tirage de 45mm
Tirage de 75mm
Tirage de 100mm
Tirage de 120mm

Fig. 1.
Voûte courte
Combustible brûlé par heure.



Abscisses

Longueurs des tubes
Echelle de 0m,0625 pour 1 mètre

Ordonnées

Combustible brûlé par heure
Echelle de 0m,0125 pour 100 Kilog.

Fig. 2.
Bouilleur Tenbrink

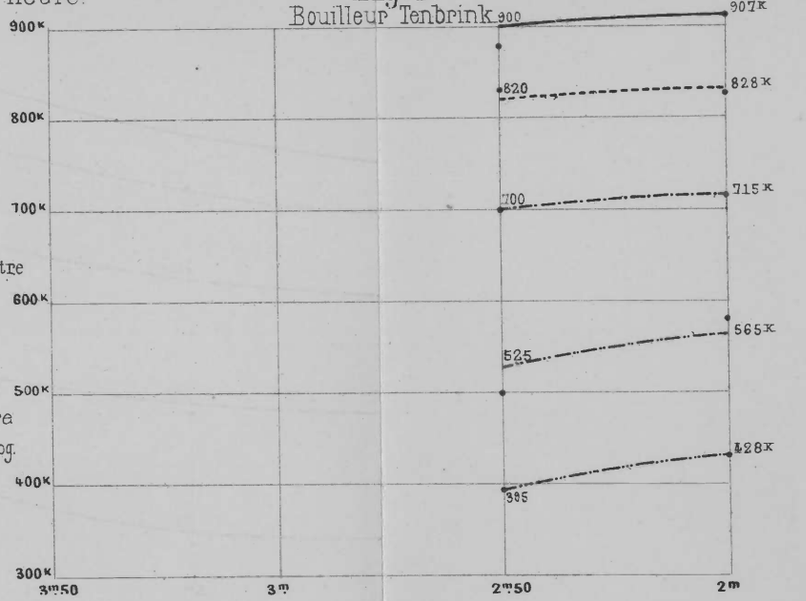
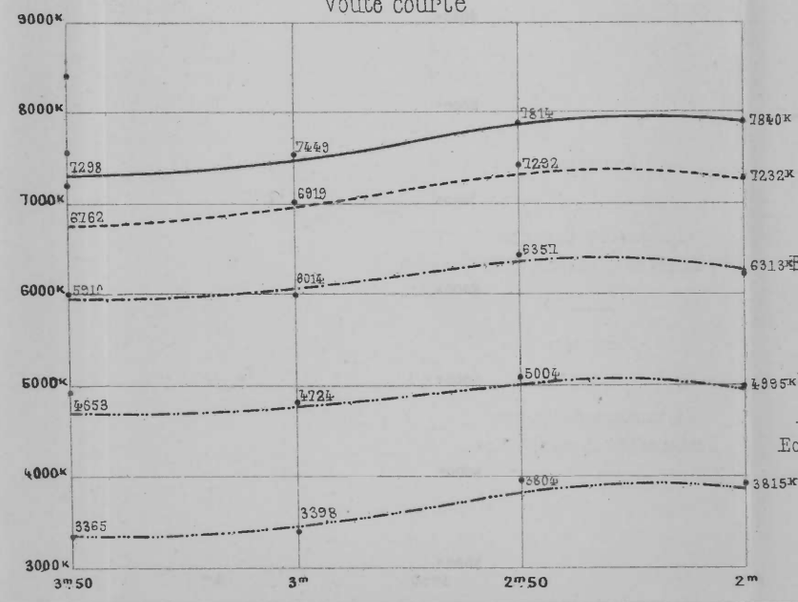


Fig. 3.
Voûte courte
Eau vaporisée par heure.



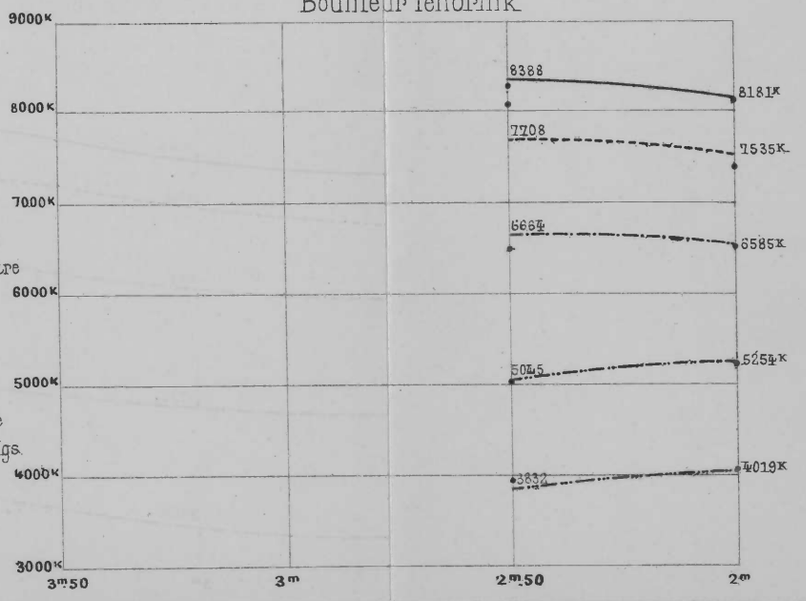
Abscisses

Longueurs des tubes
Echelle de 0m,0625 pour 1 mètre

Ordonnées

Eau vaporisée par heure
Echelle de 0m,0125 pour 1000 Kgs.

Fig. 4.
Bouilleur Tenbrink



10839

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Légende :

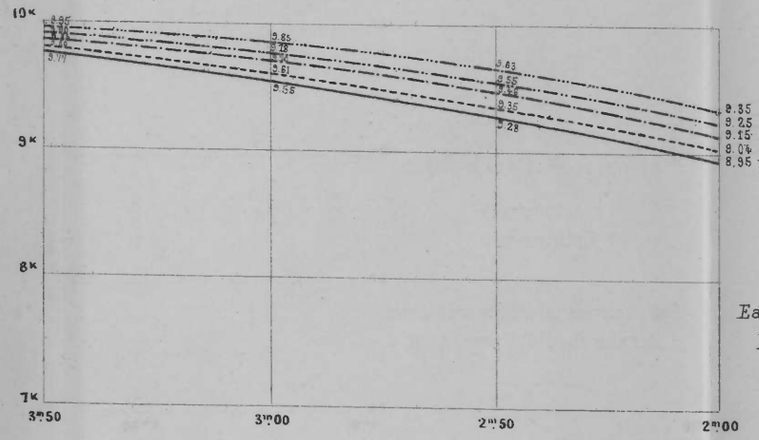
Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes en laiton à ailettes de 50 millimètres de diamètre.

Tirage de 25 m/m
Tirage de 45 m/m
Tirage de 75 m/m
Tirage de 100 m/m
Tirage de 120 m/m

Eau vaporisée par kilog. de combustible brut.

Fig. 1.

Voûte courte



Abscisses

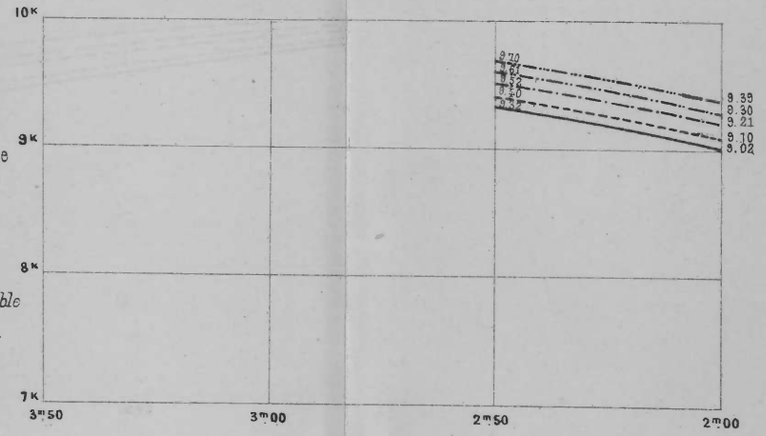
Longueur des tubes
Echelle de 0m0625 pour 1 mètre

Ordonnées

Eau vaporisée par Kilog de combustible
Echelle de 0m0175 pour 1 Kilog.

Fig. 2.

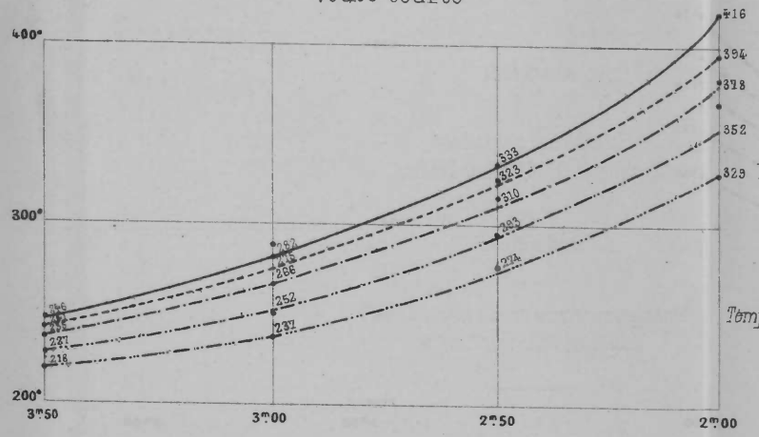
Bouilleur Tenbrink



Températures moyennes dans la boîte à fumée.

Fig. 3.

Voûte courte



Abscisses

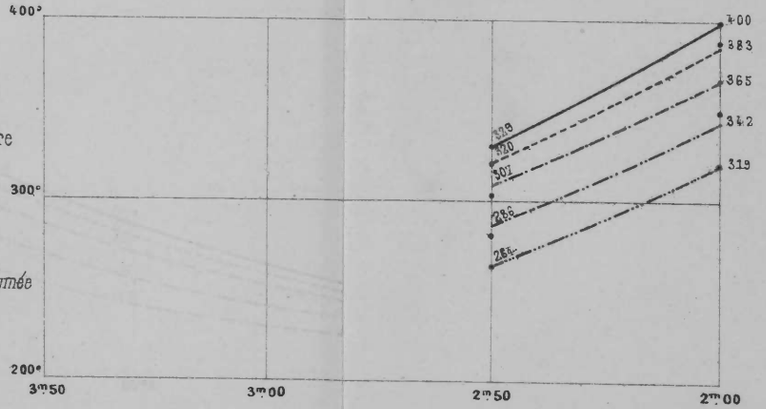
Longueur des tubes
Echelle de 0m0625 pour 1 mètre

Ordonnées

Température moyenne dans la boite à fumée
Echelle de 0m025 pour 1 mètre

Fig. 4.

Bouilleur Tenbrink



Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

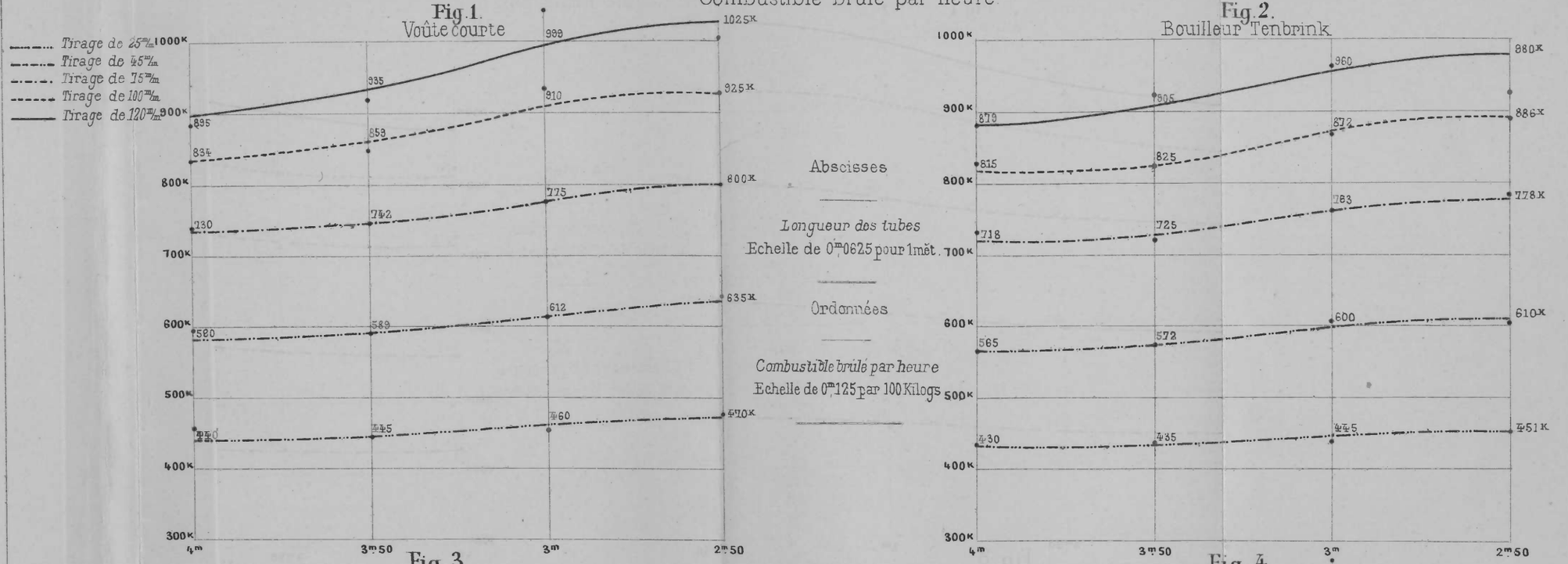
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes en laiton à ailettes de 65 millimètres de diamètre.

Combustible brûlé par heure

Fig. 1. Voûte courte

Fig. 2. Bouilleur Tenbrink



Abscisses

Longueur des tubes
Echelle de 0m0625 pour 1 mèt.

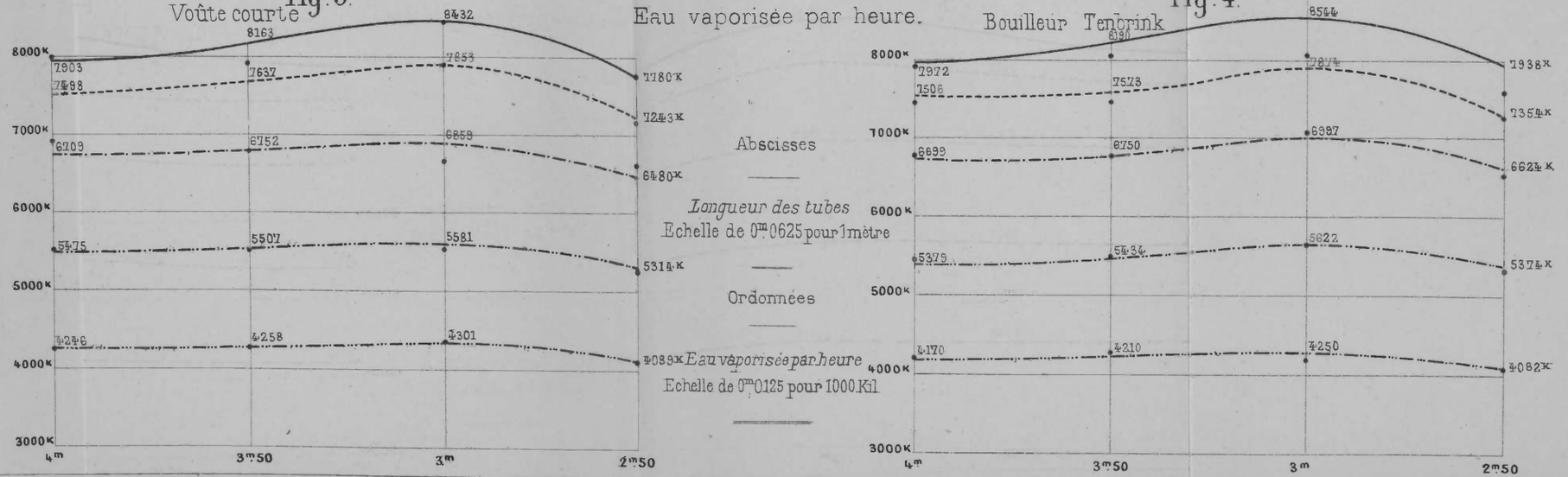
Ordonnées

Combustible brûlé par heure
Echelle de 0m125 par 100 Kilogs

Eau vaporisée par heure.

Fig. 3. Voûte courte

Fig. 4. Bouilleur Tenbrink



Abscisses

Longueur des tubes
Echelle de 0m0625 pour 1 mètre

Ordonnées

Eau vaporisée par heure
Echelle de 0m0125 pour 1000 Kil.

12841

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

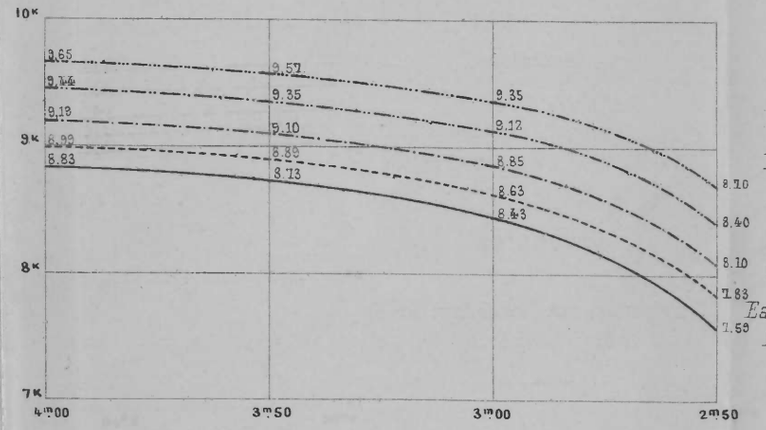
Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque, Paris.

Vaporisation dans les chaudières de locomotives. — Tableaux graphiques. — Tubes en laiton à ailettes de 65 millimètres de diamètre.

Tirage de 25mm/m.
Tirage de 45mm/m.
Tirage de 75mm/m.
Tirage de 100mm/m.
Tirage de 120mm/m.

Eau vaporisée par kilog. de combustible brut.

Fig. 1.
Voûte courte



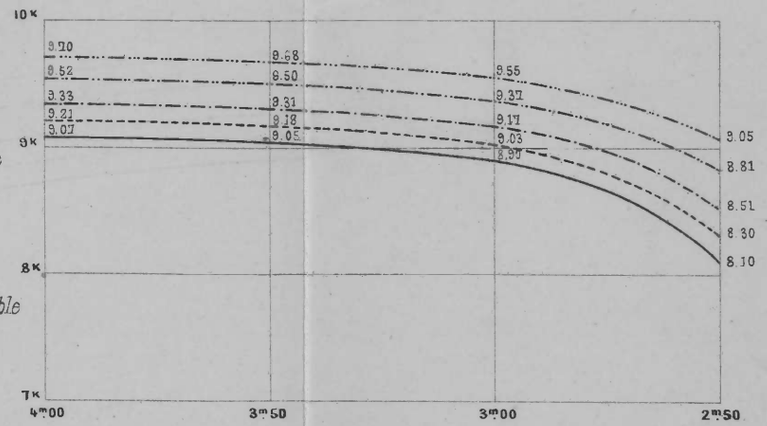
Abscisses

Longueurs des tubes
Echelle de 0m,0625 pour 1 mètre

Ordonnées

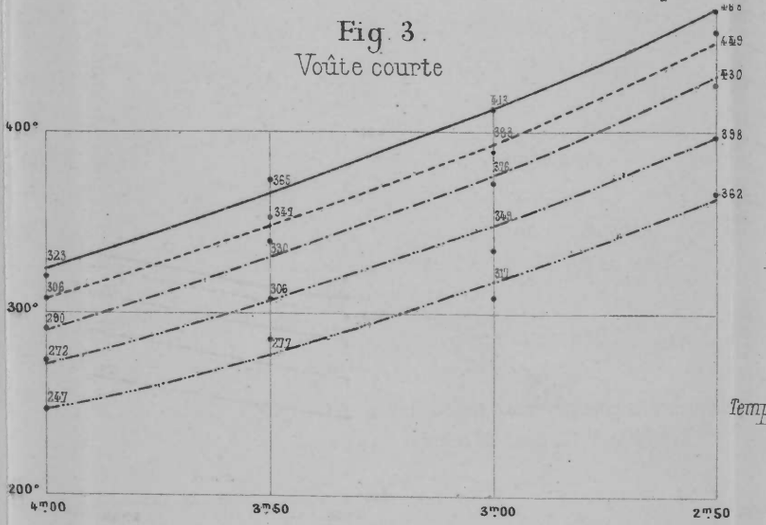
Eau vaporisée par Kilog de combustible
Echelle de 0m,0175 pour 1 Kilog.

Fig. 2.
Bouilleur Tenbrink



Températures moyennes dans la boîte à fumée.

Fig. 3.
Voûte courte



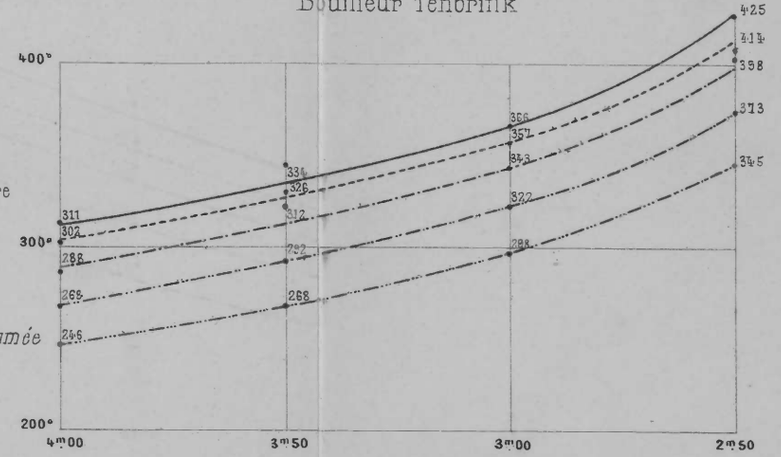
Abscisses

Longueurs des tubes
Echelle de 0m,0625 pour 1 mètre

Ordonnées

Températures moyennes dans la boite à fumée
Echelle de 0m,025 pour 100 degrès

Fig. 4.
Bouilleur Tenbrink



10842

Annales des Mines, 9e Série, Tome VI, pages 119 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Croquis du Finmark, d'après M. Hans Reusch

Fig. 1.

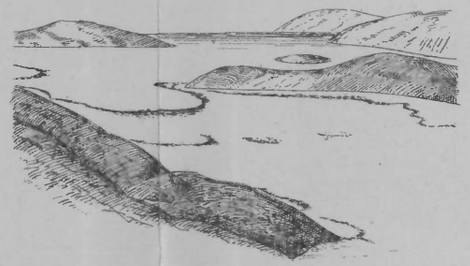


Fig. 8.

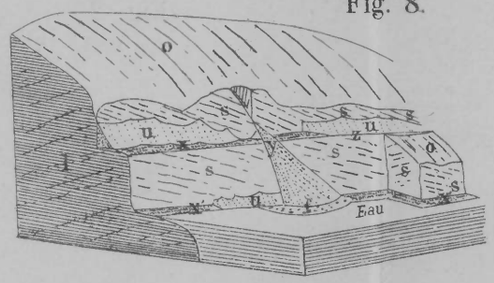


Fig. 2.

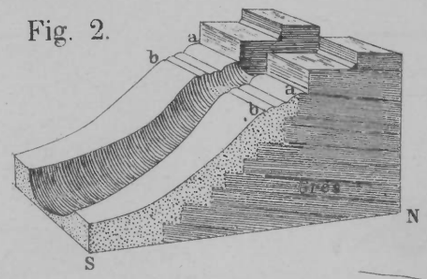


Fig. 7.

Fig. 3.

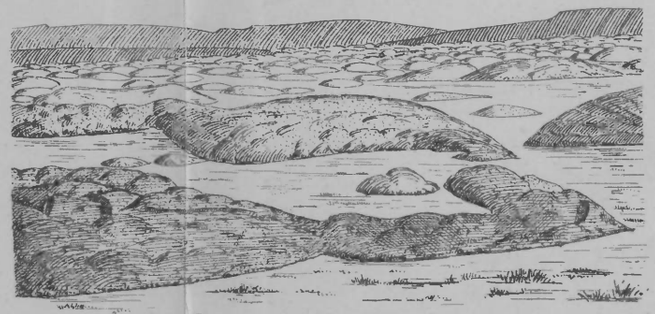


Fig. 5.

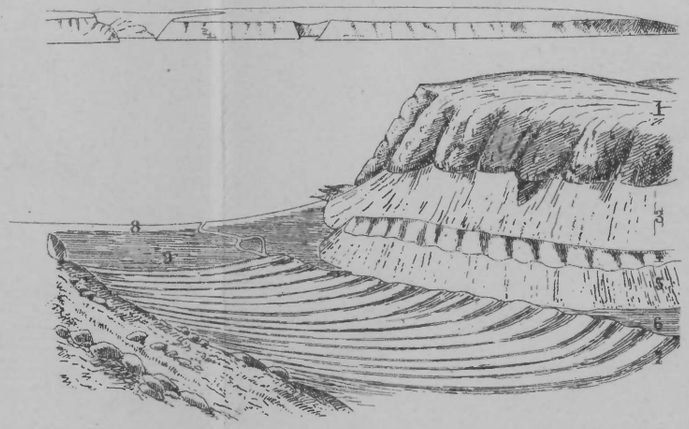


Fig. 9.

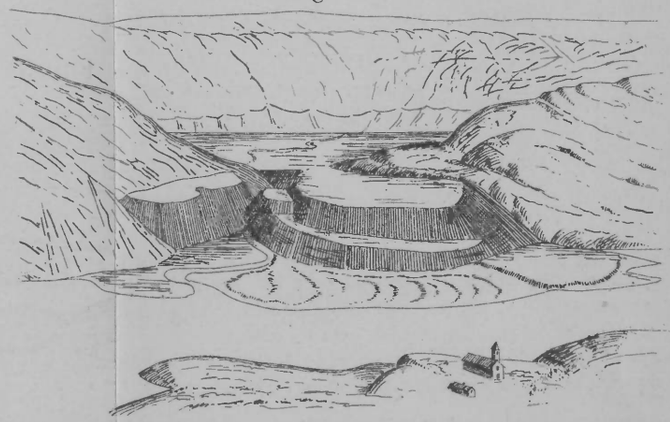


Fig. 4.

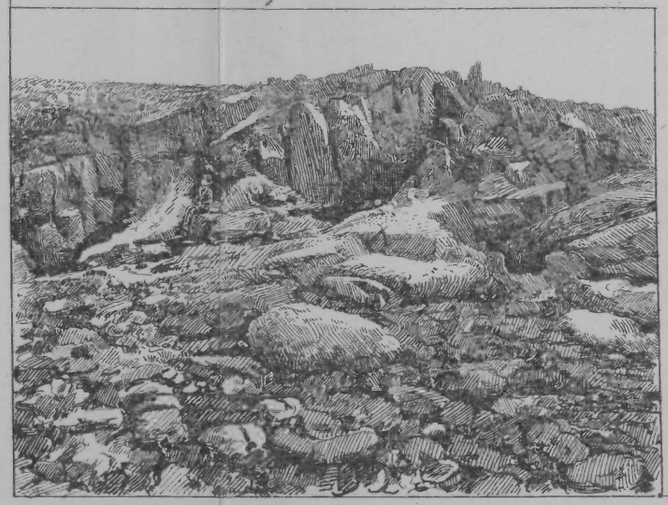


Fig. 6.

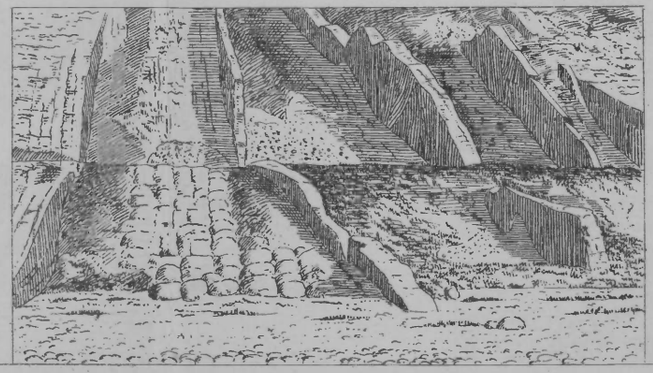
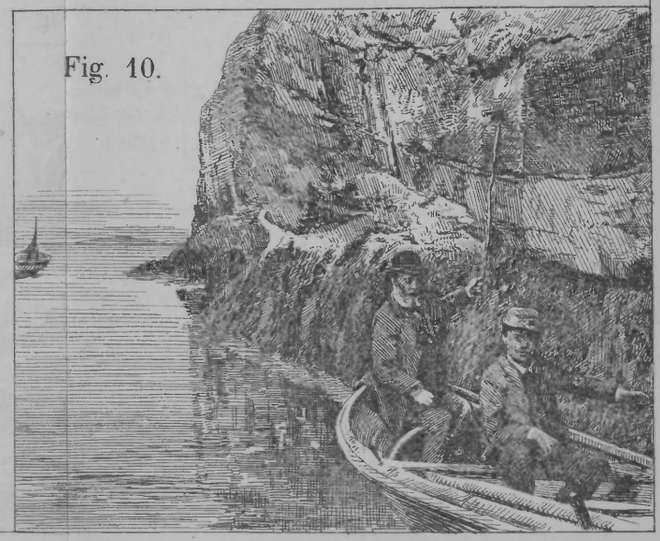


Fig. 10.



Annales des Mines. 9e Série, Tome VI pages 239 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1.

1/200.000

Légende des Fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6

1 Cénomanien
2 Turonien
3 Marnes sénoniennes } Sénonien
4 Calcaires à Inocérames Sén. supr
5 Marnes suessoniennes } Suessonien
6 Couches de phosphate
7 Calcaires compacts à Nummulites Thersitea et rognons de silex
8 Dépôts alluviannaires
// Failles

Légende de la Fig. 4

a Phosphate — Couche principale
b Phosphate, couches moins importantes
d Bancs calcaires à rognons de silex
β Bancs calcaires à Nummulites siliceuses
γ Banc à Thersitea siliceuses.
δ Banc à Nummulites calcaires.

Fig. 7.

Légende de la Fig. 7.

Sénonien
Suessonien
Ligurien
--- Phosphate

1/400 000

Fig. 1 à 6. Massif du Dyr et du Dj. Kouif. — Fig. 7 à 10. Redir et Mzeita (Bordj-Bou-Arréridj)

Fig. 2. Coupe I.

N.O. Dj Fellah — Djebel Dyr 1400 — Djebel Kouif 1180 — S.E.

Echelle : 1/200.000 hauteurs triplées

Fig. 3. Coupe II

N.E — Aïn Gastel — Djebel Dyr 1517 — S.O.

Echelle : 1/200.000 hauteurs triplées

Fig. 4. Coupe III

N.N.E — Dj Dyr — Ras Chettabia — Eboulis calcaires — Exploitation des phosphates (Cie Crokston) — S.S.O.

Echelle : 1/50.000 hauteurs triplées

Fig. 5. Coupe IV.

N.E. — Djebel Kouif — Eboulis — S.O. Aïn el Bey

Echelle 1/50.000 hauteurs triplées

Fig. 8. Coupe I (schématique) du Dj. Mzeïta

N — S — Djebel Mzeïta — Oued el Aouara

Fig. 6. Coupe V du lambeau Suessonien d'Aïn-Kissa

N.O. — Oued Kissa — Aïn Kissa — Aïn Kournou — S.E. — Quaternaire

Echelle 1/40.000 environ.

Légende des Fig. 8, 9 et 10.

1 Sénonien; calcaires durs avec quelques alternances marneuses nombreuses Ostrœa
2 Marnes noires, base du Suessonien.
3 Alternances de calcaires marneux blancs à lits de silex et à bancs de phosphates
4 Calcaire dur blanc à Thersitea, partie supre du Suessonien.
5 Marnes et grès (Ligurien inf.)
/\ Failles

Fig. 9. Coupe II (schématique)

N — Pont de l'Oued Redir 400m avant Bordj Redir — Oued Aouara — S

Fig. 10. Coupe III. (Schématique)

E — Djebel Ayadi — Oued Redir — O

Annales des Mines. 9e Série. Tome VI, pages 319 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.

Fig. 1. Elévation, complétée par un développement à gauche de YZ, pour montrer les dispositions des tuyauteries du tube indicateur. *(Accident du 13 septembre 1893)*

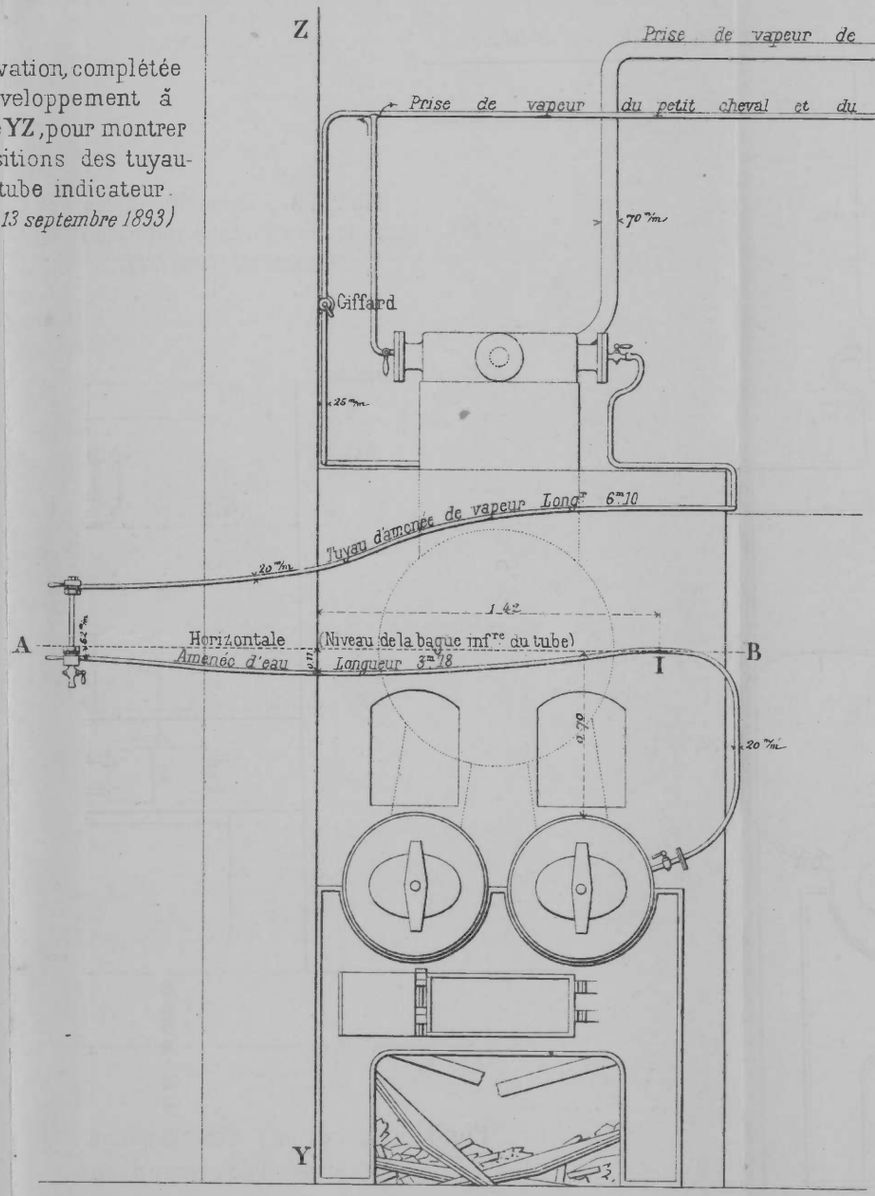


Fig. 2 et 3. — Dispositions des tuyauteries du tube indicateur. *(Accident du 1^r Avril 1893)*

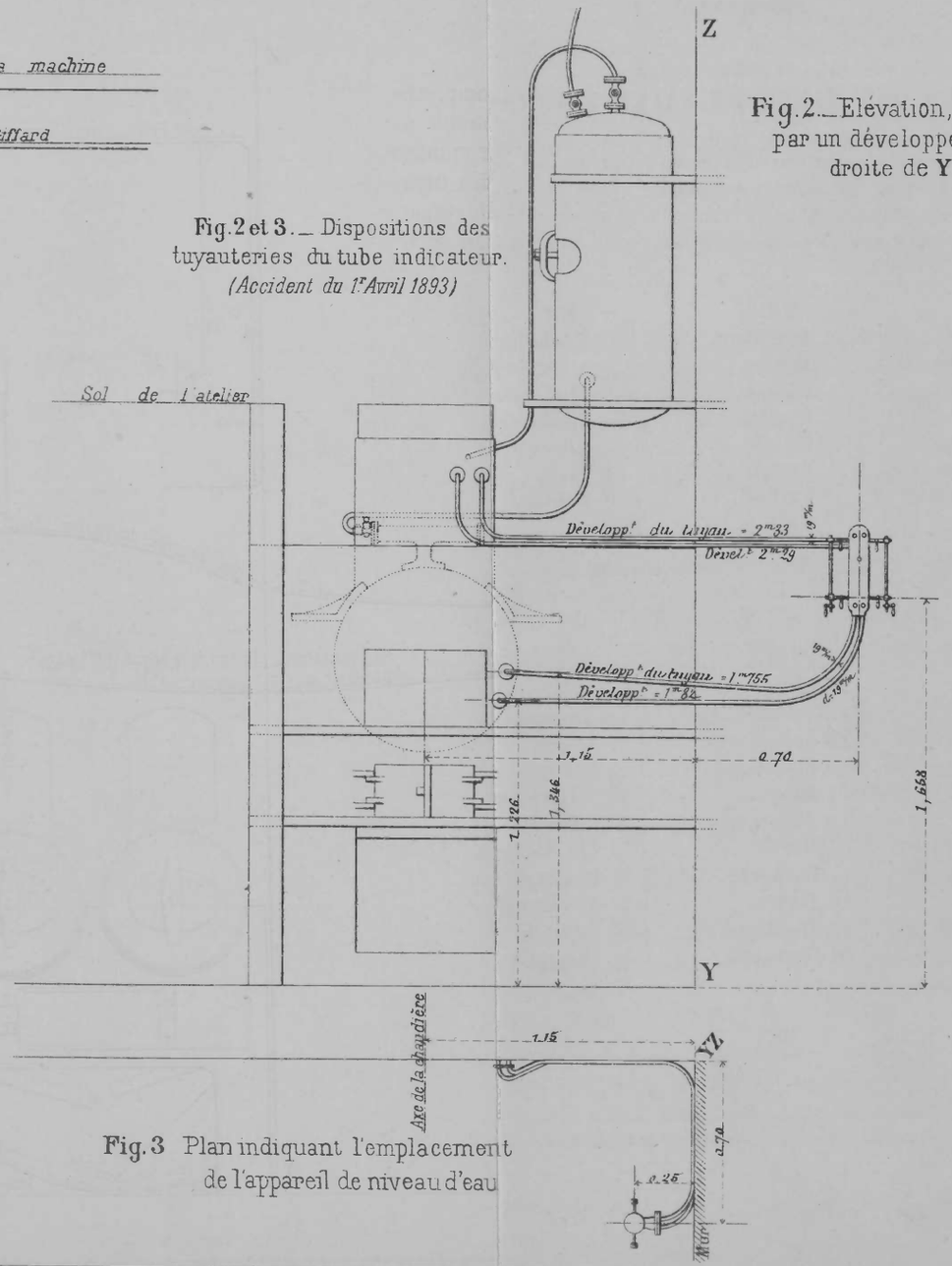


Fig. 2. — Elévation, complétée par un développement à droite de YZ.

Fig. 3 Plan indiquant l'emplacement de l'appareil de niveau d'eau

Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque. Paris.

Fig. 1 à 3. Porte de foyer autoclave
(Système Webb_C^ie des Chemins de fer de l'Ouest)

Fig. 1. Vue de face

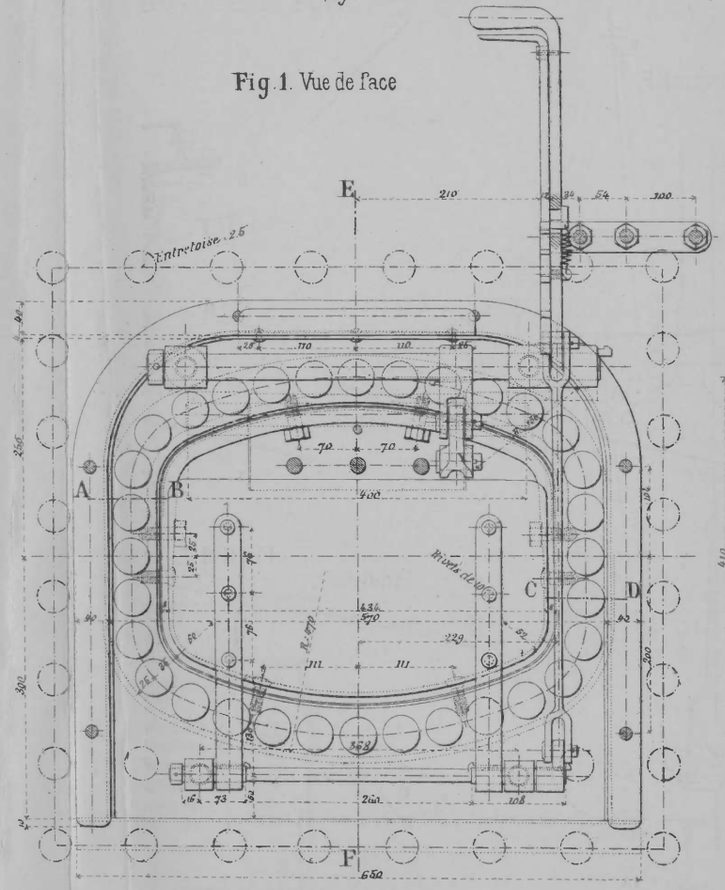
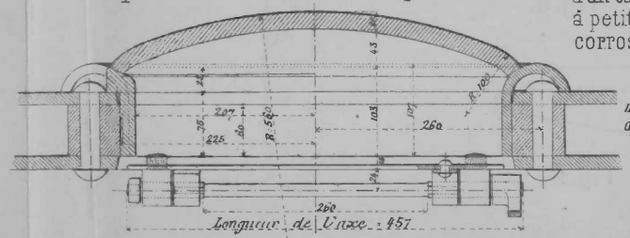


Fig. 3.



Echelle des fig. 1 à 7. 0^m125 p.m.

Fig. 2. Coupe suivant EF

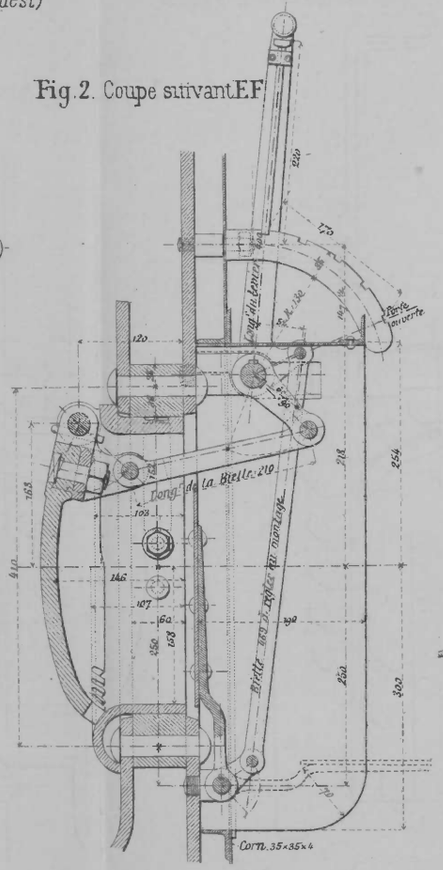


Fig. 8 et 9_ Rupture d'un tube de chaudière à petits éléments par corrosion extérieure

Les cotes sont en millimètres et fractions de millimètre.

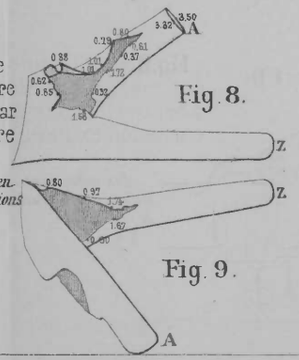
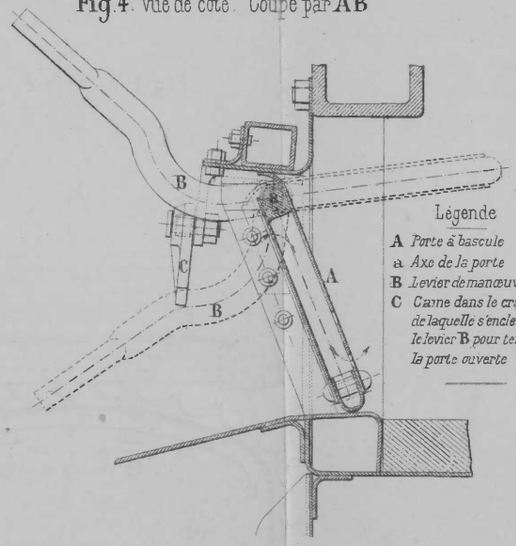


Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 4 et 5_ Porte de foyer autoclave
(MM. Delaunay-Belleville et C^ie)

Fig. 4. Vue de côté. Coupe par AB



Légende
- **A** *Porte à bascule*
- **a** *Axe de la porte*
- **B** *Levier de manœuvre*
- **C** *Came dans le cran de laquelle s'enclenche le levier B pour tenir la porte ouverte*

Fig. 5. Vue de face extérieure

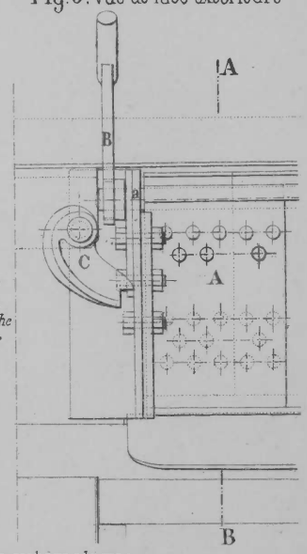
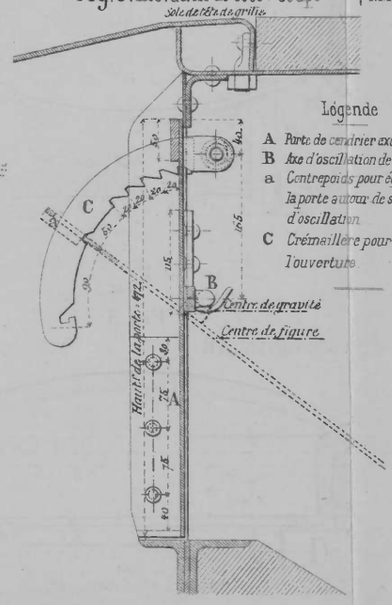


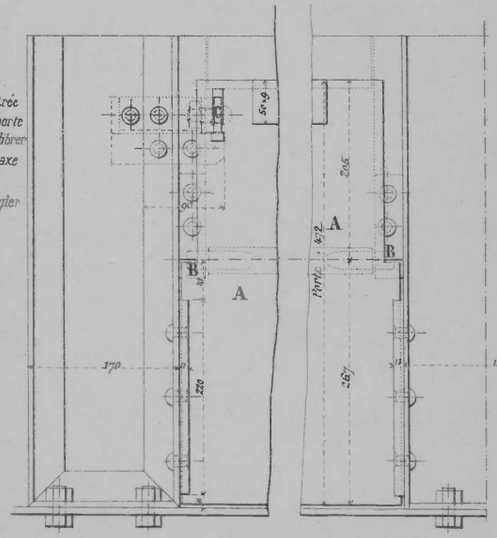
Fig. 6 et 7. Porte de cendrier à fermeture automatique
(MM. Delaunay-Belleville et C^ie)

Fig. 6. Elévation de côté. Coupe



Légende
- **A** *Porte de cendrier excentrée*
- **B** *Axe d'oscillation de la porte*
- **a** *Contrepoids pour équilibrer la porte autour de son axe d'oscillation*
- **C** *Crémaillère pour régler l'ouverture*

Fig. 7. Elévation de face



Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque. Paris.

Fig. 1 à 4. Ancrage des câbles porteurs du haut d'un plan

Echelle 1/80

Fig. 1. Coupe verticale suivant l'axe d'un plan.

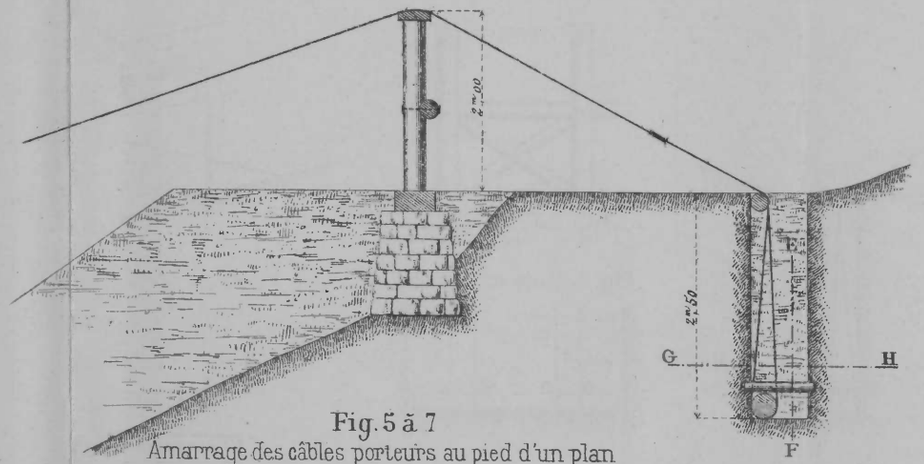


Fig. 3. Vue de face des poteaux.

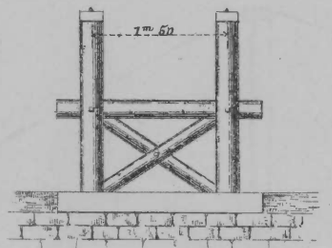


Fig. 2. Coupe verticale EF

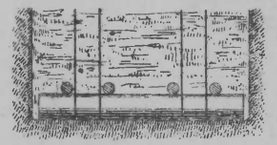


Fig. 4. Coupe horizontale GH

Fig. 5 à 7

Amarrage des câbles porteurs au pied d'un plan

Echelle 1/80

Fig. 5. Coupe par CD

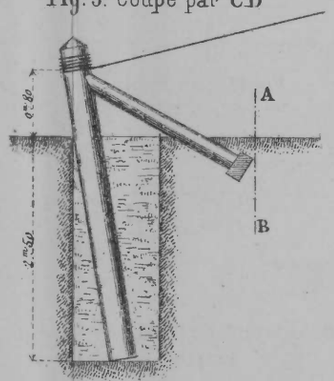


Fig. 6. Vue de face par AB

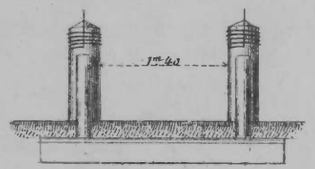


Fig. 7. Vue en dessus

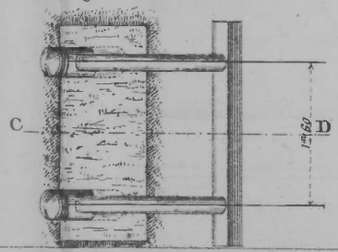


Fig. 8 et 9. Amarrage des câbles porteurs avec treuil d'enroulement

Echelle 1/80

Fig. 8. Vue de côté

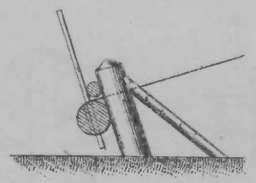
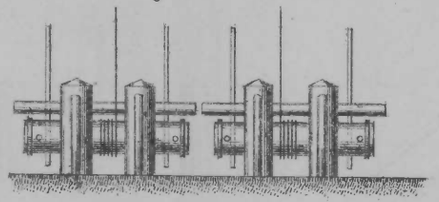


Fig. 9. Vue de face



Légende de la Fig. 15.

a a — *Crochets de suspension du plateau*

b b — *Pinces d'attelage au câble tracteur*

Fig. 17. Profil en long du plan bisautomoteur des Mines de Nakéty

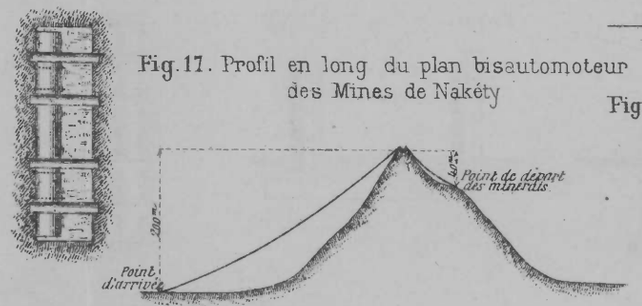


Fig. 10 à 14. Appareil mobile du haut d'un plan

Echelle 1/60

Fig. 10 Elévation

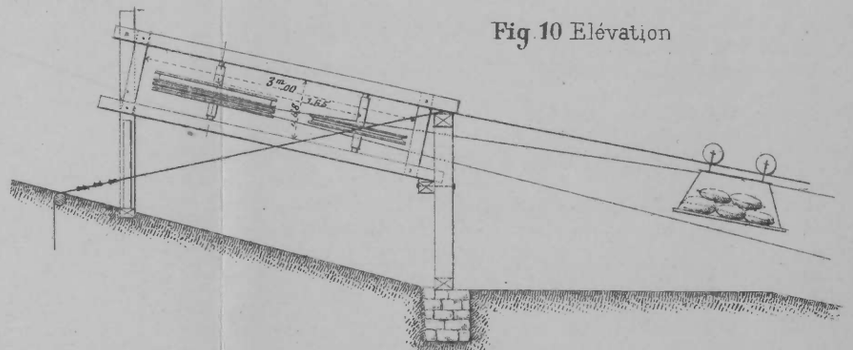


Fig. 11. Plan

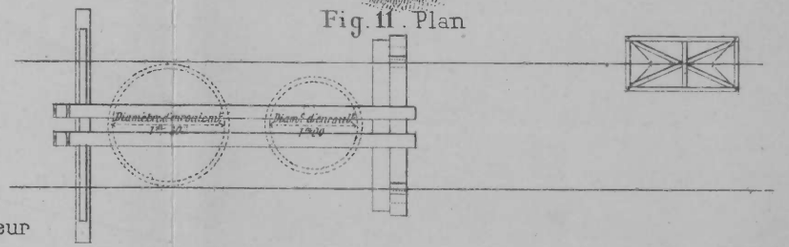


Fig. 13. Plan du bâtis des poulies conjuguées et du frein à ruban

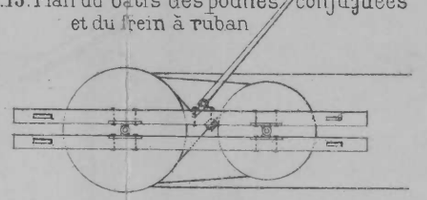


Fig. 12. Support arrière du bâtis

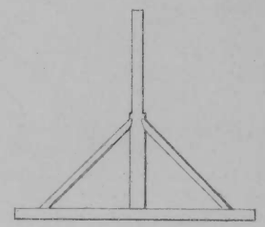


Fig. 15 et 16. Chariot de plan à poulies de 0m,22

Echelle 1/12

Fig. 15. Elévation

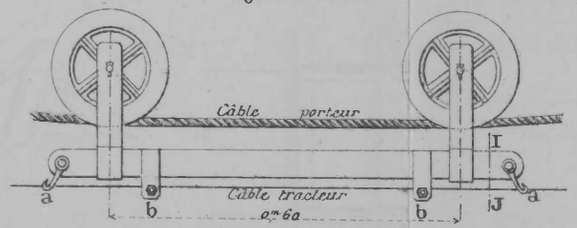


Fig. 16. Coupe verticale par IJ

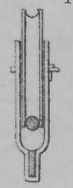
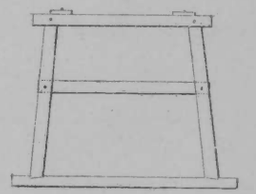


Fig. 14. Support avant du bâtis



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. Carte des Plans inclinés de Kouaoua *(Nouvelle Calédonie)*
Echelle 1/20.000

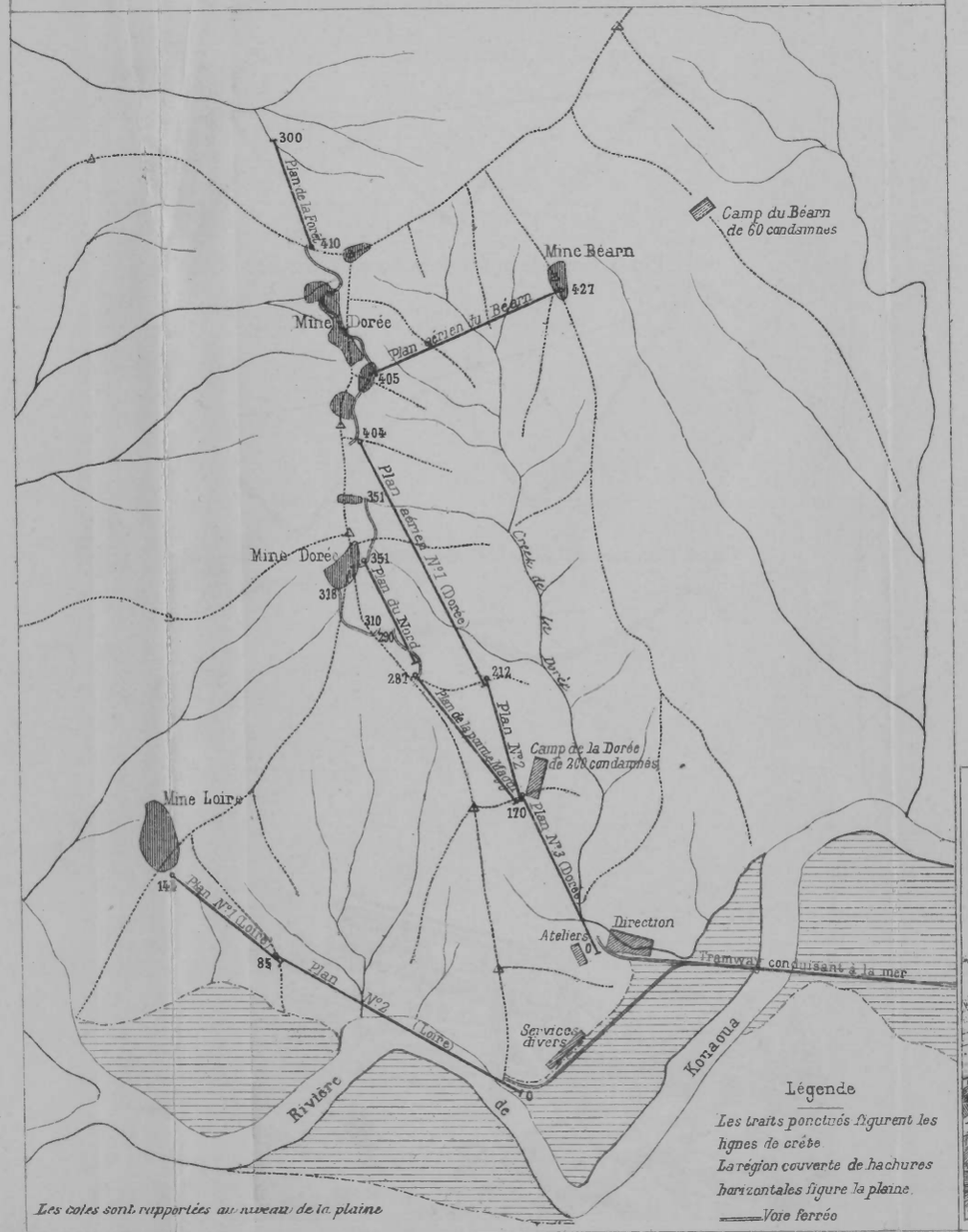


Fig. 2 à 7. Profils des Plans inclinés de Kouaoua
Echelle 1/10.00

Fig. 2. Plan aérien du Béarn *(longueur 600m)*

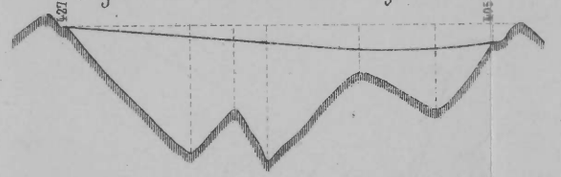


Fig. 3. Plan aérien N°1 de la Dorée *(longueur 710m)*

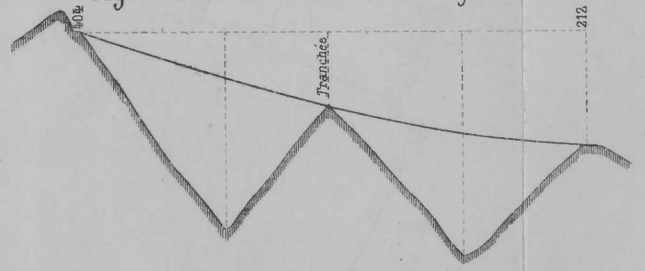


Fig. 4. Plan aérien N°2 de la Dorée *(longr 390m)*

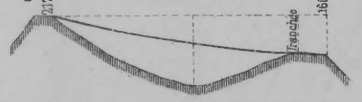


Fig. 5. Plan aérien N°3 de la Dorée *(longr 460m)*

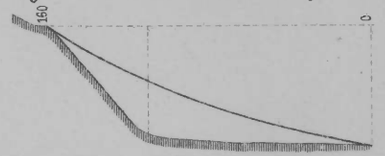


Fig. 6. Plan aérien N°1 de la Loire *(long 325m)*

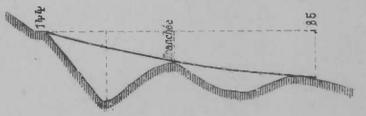


Fig. 7. Plan aérien N°2 de la Loire *(longueur 780m)*

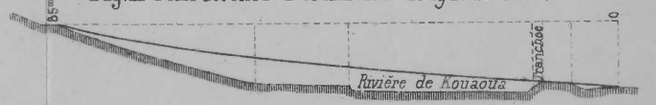


Fig. 8. Tête d'un plan

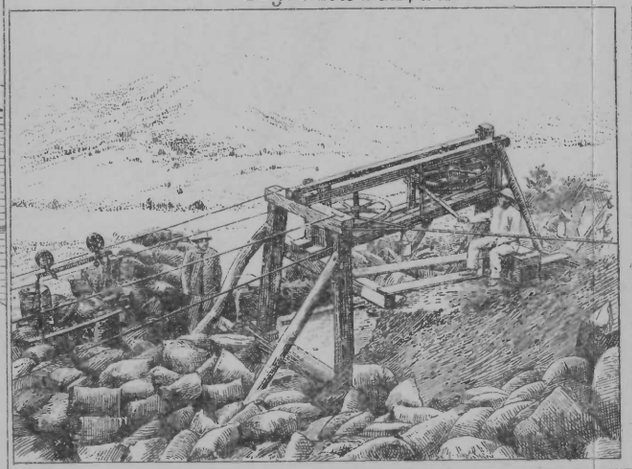
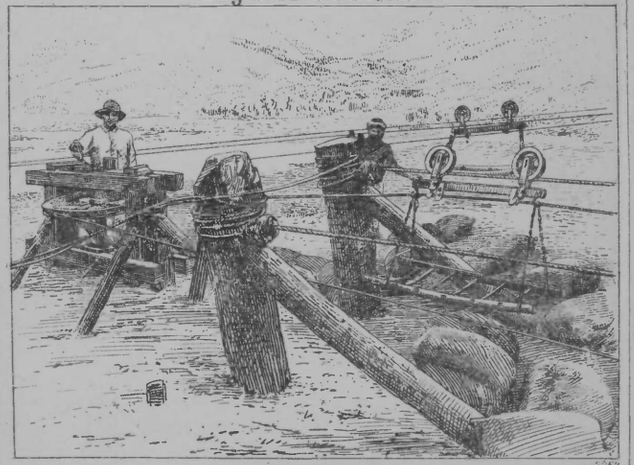


Fig. 9. Pied d'un plan



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.