

# MÉMOIRES

---

## Nouveau bassin de coulée

DES

ACIÉRIES D'ANGLEUR (USINE DE SCLESSIN)

PAR

V. FIRKET

Ingénieur des mines, Répétiteur du Cours de Métallurgie à l'Université de Liège

[6691(4936)]

---

La démolition des derniers fours à puddler de l'usine de Sclessin (Société anonyme des Aciéries d'Angleur, division de Tilleur), ayant rendu disponible une halle assez vaste, au voisinage de l'aciérie Thomas, on y a installé en 1901, un bassin de coulée rectiligne destiné à suppléer à l'insuffisance de l'ancien bassin circulaire. L'outillage de ce nouveau bassin est entièrement actionné par l'électricité.

Avec l'autorisation de M. J. Chantraine, directeur-gérant, et grâce à l'obligeant concours de son personnel technique, j'ai pu réunir au sujet de cette installation les renseignements qui font l'objet de la présente note.

Tout ce qui concerne la coulée dans les aciéries présentant un grand intérêt, j'ai pensé que la publication de cette note était justifiée, d'autant plus qu'elle me fournira l'occasion de développer quelques considérations d'une application générale au sujet de la mise en œuvre rationnelle des énormes quantités de métal fondu obtenues en quelques instants dans les usines où l'on utilise les procédés d'affinage par le vent.

Dans ces usines, l'organisation des bassins de coulée est d'une importance capitale au point de vue de la capacité de production, et les résultats obtenus dépendent principalement de la disposition générale adoptée, ainsi que des engins mécaniques dont on dispose.

Certes, l'habileté du personnel peut compenser, dans une certaine mesure, les effets d'une installation vicieuse ou insuffisante; mais on devra alors recourir à un travail intensif et à une hâte dans les manœuvres peu compatible avec leur sécurité.

Dès l'origine du procédé Bessemer, l'on s'est préoccupé de la disposition des appareils de fabrication et l'on a eu en vue d'accélérer les opérations. Mais c'est surtout depuis que les convertisseurs reçoivent la fonte liquide, directement ou par l'intermédiaire d'un mélangeur, des hauts-fourneaux dont la production s'est accrue considérablement en ces dernières années, que l'on doit, dans les aciéries, assurer la distribution et l'évacuation rapide du métal, dont l'affinage s'effectue en quelques minutes seulement.

La disposition classique de l'ancienne fonderie Bessemer est bien connue: deux cornues placées en regard l'une de l'autre aux extrémités d'une fosse de coulée demi-circulaire, sont alimentées par des cubilots situés à un niveau supérieur; elles déversent acier et scories dans la poche que porte la grue centrale; il existe en outre deux ou trois grues latérales pour le service de la fosse de coulée.

L'on peut voir encore, à l'usine de Renory de la Société anonyme des Aciéries d'Angleur, une installation de ce genre; elle y a été montée, il y a environ vingt ans, et elle avait antérieurement fonctionné dans une usine allemande; elle est aujourd'hui peu active et son ancienneté seule lui donne un certain intérêt historique. Les fours de seconde fusion, trois cubilots à fonte et deux pour spiegel, peuvent

au besoin fournir par heure 15 tonnes aux convertisseurs, qui sont de 7 1/2 tonnes.

Toutefois, en l'absence de toute disposition spéciale pour le décrassage, le remplacement du bouchon et le nettoyage de la poche absorbant beaucoup de temps, il en résulte que la durée d'une opération est de 45 à 50 minutes et qu'une production de 210 tonnes pour les deux postes constitue un maximum.

Le service du bassin est assuré par deux grues de 5 tonnes; on y coule, au panier, des lingots pour la fabrication des bandages, pesant de 210 à 680 kilogrammes. La préparation de la coulée et l'enlèvement des produits se font aisément, même lorsqu'il s'agit de petits lingots, au nombre de 34.

D'autre part, il faudrait, d'après le chef de service, près d'une heure et demie pour préparer le bassin si l'on devait couler ces petits lingots en source, ce qui ne peut d'ailleurs se faire pour les bandages, car l'on obtiendrait trop difficilement des lingots de poids bien déterminé.

A Renory, on utilise le procédé Bessemer et la seconde fusion pour la fabrication de petites quantités de produits spéciaux.

A l'usine de Sclessin, au contraire, on emploie le procédé basique et l'aciérie reçoit la fonte liquide directement des hauts-fourneaux. Ceux-ci au nombre de deux, mis à feu en 1898, produisent journellement en moyenne 300 tonnes de fonte Thomas. La planche I donne la disposition d'ensemble de l'aciérie de Sclessin, qui a été établie en 1893 sur un emplacement fort exigu, alors que la fabrication du fer puddlé y était encore importante. Trois convertisseurs de 11 tonnes occupent à peu près le tiers d'une circonférence ayant pour centre l'axe de la grue centrale.

Tous les services, introduction de la fonte, décrassage

et coulée de l'acier, dépendent de cette grue centrale, ce qui est peu rationnel.

L'on sait que dans les aciéries de création récente, on place les convertisseurs en ligne et l'on y rend indépendants les services de l'alimentation et du décrassage; quant à l'acier, il est transporté par des grues roulantes généralement à vapeur, aux bassins de coulée, que l'on peut éloigner de la fonderie proprement dite.

Il est à remarquer que l'on a construit des grues de ce genre en Allemagne, dès 1885 (Voir LEDEBUR, *Métallurgie du fer*, t. II, p. 434). La nécessité où l'on se trouve de dégager les abords des convertisseurs est donc depuis longtemps connue. Mais, dans les aciéries à forte production, l'on a simplifié et accéléré les opérations surtout par la coulée d'un petit nombre de gros lingots, dégrossis, après un court séjour dans des pits, par de puissants bloomings.

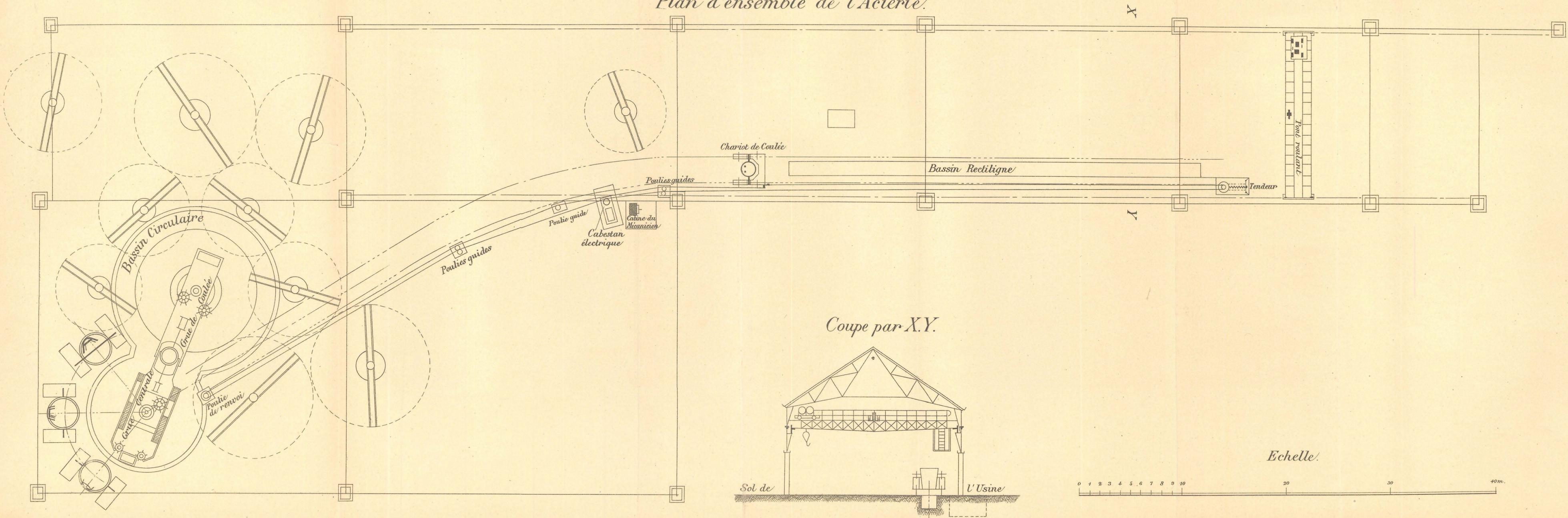
Cette solution très économique permet d'atteindre des productions considérables, presque sans réchauffage du métal. Elle est toutefois spécialement applicable à la fabrication des profils lourds; et, si elle diminue le déchet, on peut craindre que les retassures, toujours importantes dans les gros lingots, ne viennent altérer la qualité des barres produites au moyen du bloom tiré de la tête du lingot. D'autre part, cette solution exige des installations vastes et largement outillées pourvues de tous les progrès techniques, ce qui entraîne l'immobilisation de capitaux importants qui ne sont pas toujours assurés d'une juste rémunération.

Peut-être pourrait-on encore reprocher à ces superbes usines de création récente, qui font l'admiration des techniciens et que je ne crois pas devoir citer ici, de manquer d'élasticité et de se prêter surtout à la production de quantités fantastiques d'un même fabricat, dont le

# NOUVEAU BASSIN DE COULÉE DES ACIÉRIES D'ANGLEUR.

Planche I

Plan d'ensemble de l'Aciérie.



débit peut devenir difficile, spécialement en temps de crise.

Dans nos anciennes usines, où l'on manque généralement de place, les installations se succèdent et s'enchevêtrent; les questions à résoudre y sont toujours complexes.

On doit d'ailleurs y produire les fabricats les plus divers en restreignant les immobilisations; les solutions adoptées sont moins élégantes, au point de vue strictement technique; mais les difficultés de tous genres que l'on doit vaincre suffisent à les rendre intéressantes.

Avant de décrire celle qui a été réalisée à Sclessin, spécialement en vue de permettre la coulée en source d'un plus grand nombre de petits lingots, je donnerai une description sommaire des installations anciennes.

Ainsi que l'indique la planche I une seconde grue hydraulique, dite grue de coulée, reçoit de la grue centrale la poche contenant l'acier et dessert un bassin circulaire large de 2 mètres; d'un rayon moyen de 7 mètres, il est muni de quatre grues de manœuvre. La partie utilisable de ce bassin n'excède pas une demi-circonférence.

Voici quelles sont les manœuvres effectuées par la grue centrale :

1° Elle reçoit à l'une de ses extrémités la poche à fonte avec son chariot, l'amène au bec de la cornue et y déverse le métal en fusion; le mouvement d'avancement du chariot et d'inclinaison de la poche se commandent à la main au moyen de treuils placés sur la grue;

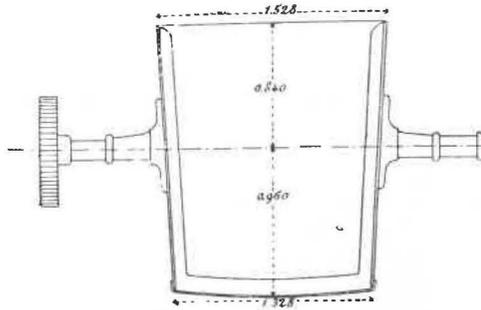
2° Elle effectue le décrassage; on étudie une disposition nouvelle qui permettra de couler directement la scorie sans le secours de la grue centrale.

3° Elle reçoit l'acier dans la poche et dépose celle-ci sur la grue de coulée.

Pour rendre possible cette dernière manœuvre et en assurer la sécurité, on a dû donner à la poche à acier une

disposition et des dimensions différentes de celles qui sont généralement usitées.

C'est pourquoi, j'ai représenté ci-dessous la dite poche, en coupe, à l'échelle de 2 centimètres par mètre.



Ce croquis montre que tant à vide qu'en charge, le centre de gravité se trouve, dans cette poche, sous l'axe de suspension, ce qui empêche complètement le renversement accidentel de la poche.

Or, cet accident, assez fréquent lorsque le centre de gravité est supérieur à l'axe, peut avoir de très graves conséquences.

La poche à acier de Sclessin est encore caractérisée par l'existence de doubles tourillons. Ceux qui se trouvent à l'extérieur n'ont rien de spécial; ils correspondent aux paliers du chariot de la grue de coulée, et l'un deux est suivi du pignon qui engrène avec la vis du dit chariot.

Quant aux tourillons les plus voisins de la poche, ils sont en forme d'**U** et peuvent être saisis par les paliers de la grue centrale; la poche ne peut donc pas pivoter lorsqu'elle repose dans ces paliers; elle est ensuite soulevée par la grue de coulée, dont les bras viennent se placer à l'extérieur des longerons de la grue centrale.

Avec l'installation ancienne, on pouvait faire en 12 heures de 20 à 22 coulées de 9 tonnes d'acier comprenant en moyenne 14 lingots par coulée, ce qui donne 643 kilog. pour le poids moyen des lingots.

Une partie du bassin était réservée pour la coulée en source des lingots de faibles poids, destinés aux petits trains; ces lingots sont très sains et pour la fabrication des petits aciers marchands, l'on peut sans inconvénient partir d'une section très réduite. D'autre part, il n'existe pas à Sclessin de train blooming spécial.

Malheureusement, la coulée en source demandant une préparation assez longue, on ne pouvait produire des quantités notables de petits lingots, par ce procédé sans provoquer un encombrement du bassin, et sans nuire à l'alimentation régulière des gros trains. Ceux-ci, au nombre de deux, ne sont séparés de l'aciérie que par des fours roulants, où l'on charge les lingots après démolage et parfois après refroidissement complet; il n'existe pas de pits à Sclessin.

Quant aux petits trains, ils sont situés à l'autre extrémité de la halle des laminoirs, non loin du nouveau bassin de coulée.

Ce bassin, de 40 mètres de longueur, large de 1<sup>m</sup>60 et profond de 1<sup>m</sup>30, a permis d'augmenter la production en portant à 28 le nombre des coulées par poste. Il a dégagé les abords des gros trains, pour lesquels on continue à employer le bassin circulaire, et il est utilisé tout particulièrement pour la coulée en source de lingots dont le poids varie de 125 à 250 kilog. ou pour la coulée en chute de lingots ayant de 250 à 450 kilog. Ces lingots sont en grande partie laminés par les petits trains; l'excédent destiné à la vente est emmagasiné dans la halle le long du bassin; cette halle, suffisamment vaste, longue de 80 mètres, large de 17<sup>m</sup>50, abrite en outre les lingotières de réserve.

Je crois inutile de donner ici la description de la charpente de cette halle; elle est représentée par la coupe  $xy$  de la planche I; il me suffira d'ajouter qu'elle a coûté 70,000 francs.

Je ne ferai que mentionner également le pont roulant électrique de 2 1/2 tonnes, qui circule dans cette halle; cet engin de levage est seul utilisé pour la manœuvre des lingotières, pour le démoulage, le transport et l'emmagasinage des lingots. Il a été reconnu insuffisant et l'on va compléter l'outillage de la halle, en y plaçant un second pont du même système, de la force de 5 tonnes.

Le plan d'ensemble de la planche I montre que la nouvelle halle de coulée ne se trouve pas en regard des convertisseurs; pour se rendre au bassin, le chariot qui reçoit de la grue centrale la poche d'acier, doit par suite de cette circonstance passer dans une courbe; il traverse en outre différentes voies de service conduisant aux laminoirs.

La voie sur laquelle il circule, longue de 106 mètres, est formée de rails pesant 50 kilog. par mètre; son écartement est de 2<sup>m</sup>50; elle est fortement entretoisée dans la courbe.

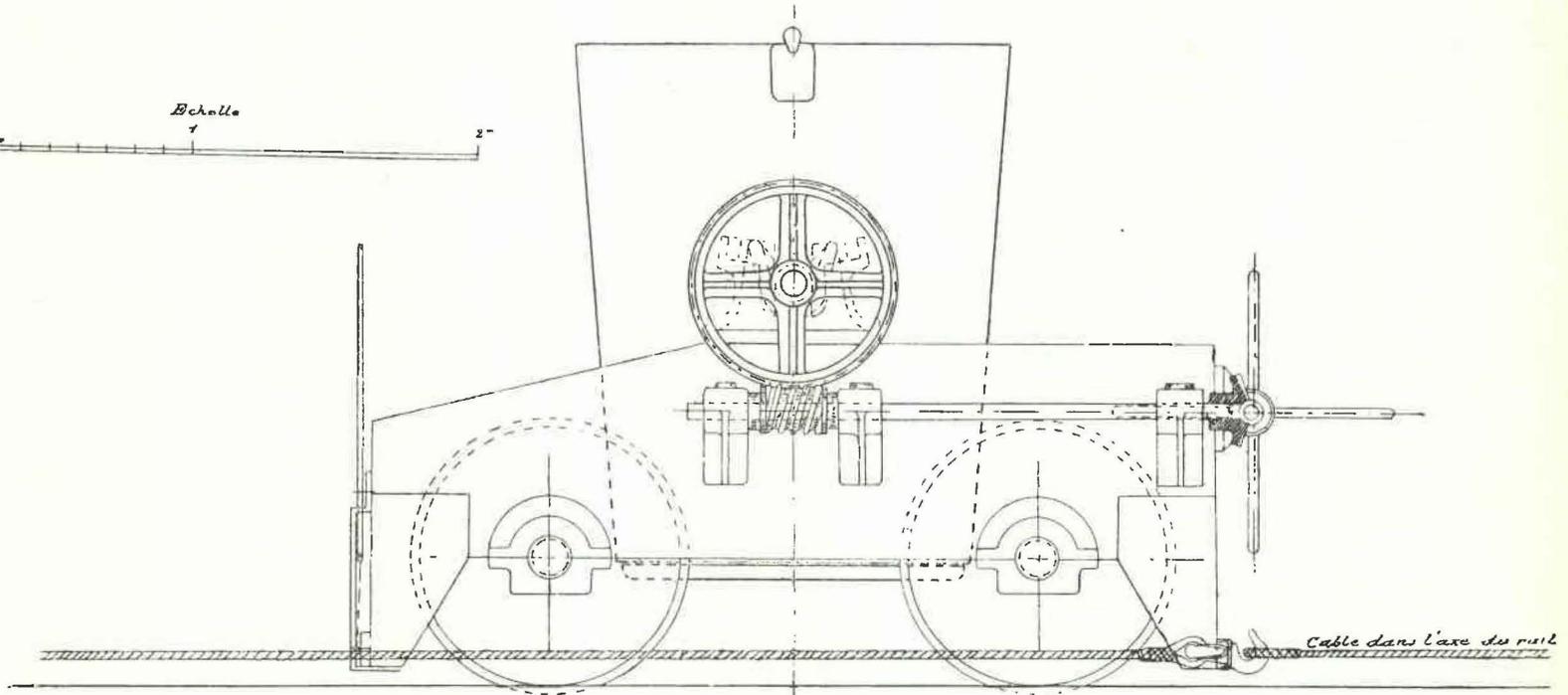
Le chariot est représenté par la planche II, en plan et en élévation, ainsi que la poche à acier qui est conforme à la description donnée précédemment et est pourvue de deux bouchons.

Quant au chariot, qui est d'une construction assez spéciale, il comprend deux flasques en tôle à doubles parois, solidement reliées à la face d'arrière. A l'avant, il n'existe qu'une petite traverse mobile, voisine des rails, qui n'empêche pas les longerons de la grue centrale de pénétrer entre les flasques, ainsi qu'on le voit à la planche II.

Cette traverse est destinée à empêcher le rapprochement des flasques et le déraillement du chariot lors du passage dans la courbe; il n'existe en effet qu'un essieu d'arrière, tandis que, à l'avant, les deux roues indépendantes l'une

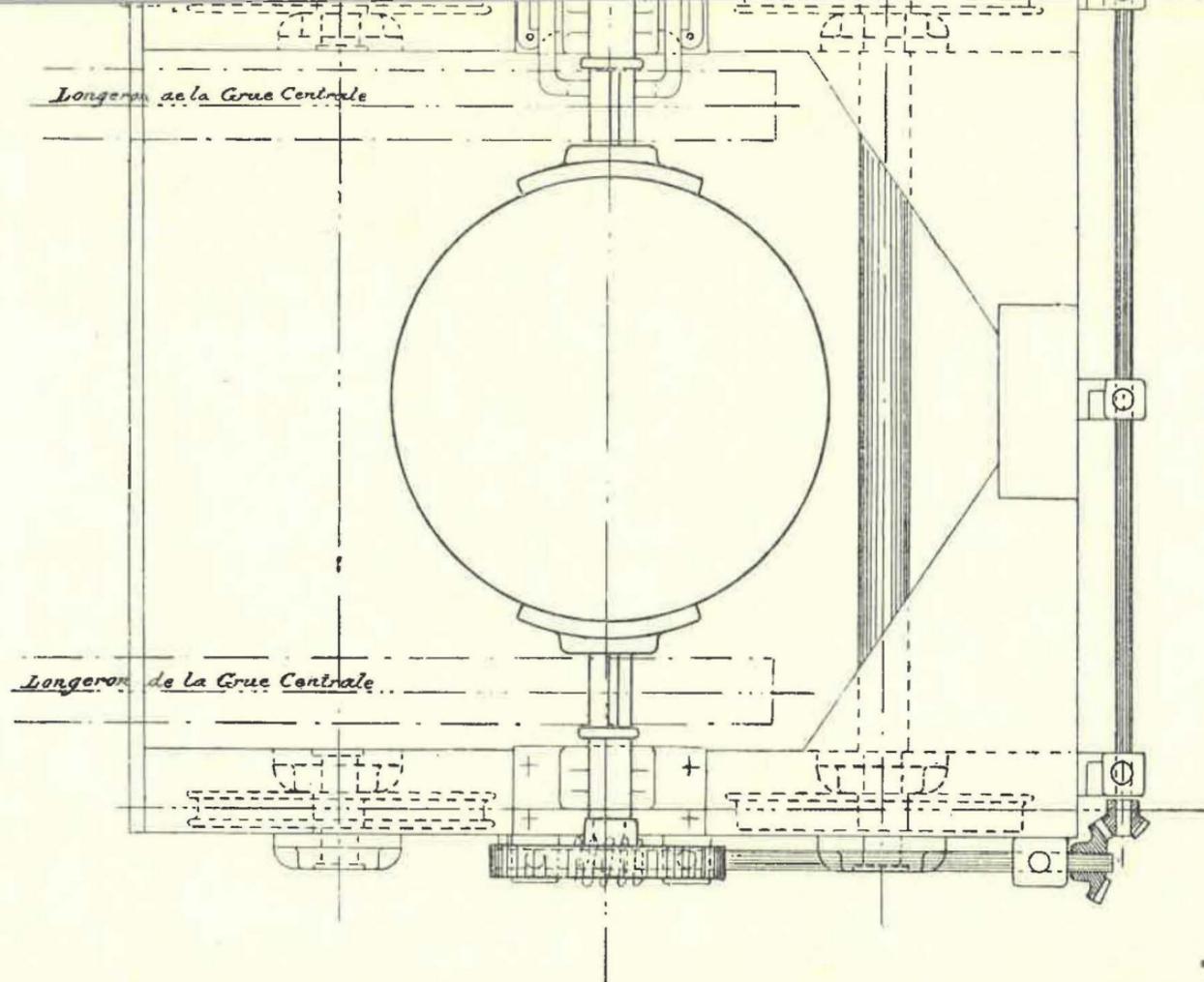
# CHARIOT DE COULÉE ET POCHE A ACIER.

PLANCHE II.



*Élévation.*



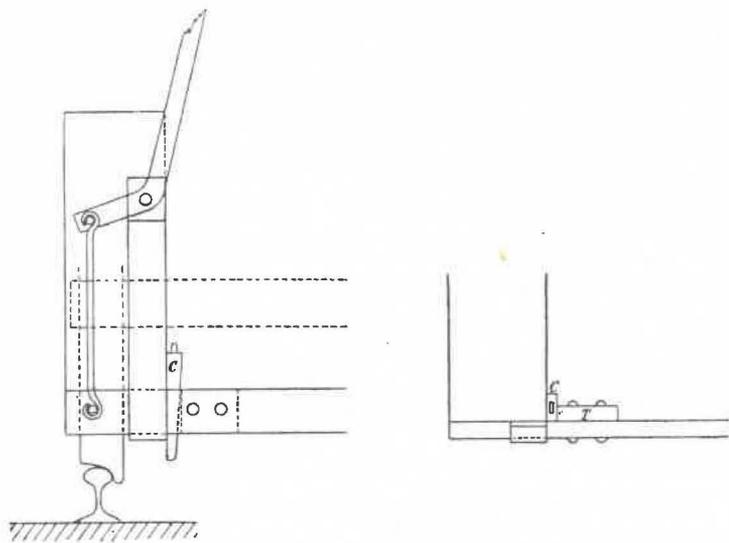


de l'autre sont montées comme des galets, afin de laisser libre passage aux longerons de la grue centrale.

La traverse d'avant, formée d'une barre de 120 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> de haut et de 45 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> d'épaisseur, est très voisine du sol; les oreilles des lingotières dépassant le niveau de celui-ci, on a imaginé un dispositif ingénieux, qui permet de la relever.

J'ai cru intéressant de la représenter bien qu'il soit d'une application tout à fait locale.

A la flasque de droite, qui se trouve à l'intérieur de la courbe, la traverse est fixée par un pivot; du côté gauche, elle glisse dans un étrier et un système de levier permet de la relever d'environ 0<sup>m</sup>28 au maximum.



Lorsqu'elle est abaissée, on intercale un coin de serrage *C* entre la flasque du chariot et un taquet *T* rivé sur la traverse. Le croquis ci-contre, à l'échelle de 1/20, représente l'extrémité gauche de la traverse et les dispositifs de calage et de relevage.

Le poids à charge du chariot de coulée est voisin de 22 tonnes, se décomposant comme suit :

Chariot . . . . .	8 tonnes.
Poche. . . . .	5 id.
Acier . . . . .	9 id.
Poids total. . . . .	22 tonnes.

La poche à acier repose par ses deux pivots extérieurs dans les paliers du chariot; du côté gauche, deux verrous fixés au palier saisissent le tourillon en U et empêchent le versement accidentel de la poche, dont le pignon engrène avec la vis fixée à la flasque droite.

Les dessins de la planche II donnent le détail des mécanismes qui permettent d'incliner la poche dans une certaine mesure.

Ces dessins montrent également la disposition des deux crochets de traction fixés un peu au-dessus des rails à l'angle externe de la traverse d'arrière, du côté désigné ci-dessus comme le côté droit. On y passe les œillets du câble moteur, lequel s'enroule sur le tambour vertical d'un cabestan électrique.

Le plan d'ensemble de la planche I indique la position de ce cabestan dont tous les organes sont dans une caisse en fonte enfouie dans le sol.

Le tambour est seul visible; sur son axe est calé un pignon conique de 56 dents attaqué par un pignon de 12 dents fixé sur l'arbre du moteur électrique de 35 chevaux, qui tourne à 400 tours.

Ce moteur, monté en série, utilise le courant continu à la tension de 120 volts, adoptée primitivement pour les installations d'éclairage.

Dans la cabine vitrée réservée au mécanicien, il y a un ampèremètre, un coupe-circuit double avec deux fusibles et le rhéostat de démarrage, dont les fils métalliques sont

enveloppés par une caisse en tôle perforée, tandis que les touches sont masquées par une cloche en fonte; il n'y a d'accessible au mécanicien du cabestan que le levier de manœuvre et le coupe-circuit.

Une fois par jour, les ouvriers du service spécial électrique visitent le moteur pour le graisser et régler les balais.

Tangentiellement au tambour, l'effort maxima de traction est de 1,500 kilog. et la vitesse est voisine de 1<sup>m</sup>50.

Le câble, qui fait cinq tours sur ce tambour, traîne sur le sol; il est, toutefois, guidé par des galets dans la courbe; il passe sur une poulie de renvoi placée au bord du bassin de la grue centrale et sur la poulie d'un tendeur à vis situé au-delà de l'extrémité du bassin de coulée; il figure en trait plein à la planche I.

Ce câble, d'une longueur totale de 216 mètres, a un diamètre de 19<sup>m</sup>/<sup>m</sup>; il est formé de fils d'acier dont la résistance à la rupture atteint 120 kilog. par millimètre carré; son poids par mètre est de 0.78 kilog. et sa résistance totale à la rupture de 8,400 kilog.

Voici, d'après les renseignements qui m'ont été fournis par la Direction, le coût de l'outillage qui vient d'être décrit, y compris le second pont roulant; j'ai arrondi les chiffres :

Pont électrique de 2 tonnes . . .	12,140 francs.
Id. de 5 tonnes . . .	16,000 id.
Treuil électrique de 35 chevaux.	11,930 id.
Câble de 216 mètres . . . . .	380 id.
Chariot de coulée . . . . .	4,520 id.
Immobilisation totale. . . . .	<u>44,970 francs.</u>

J'aurais voulu pouvoir établir, pour le nouveau bassin de Sclessin, les frais de coulée par tonne de lingots, en y comprenant la main-d'œuvre, l'entretien et le renouvellement des lingotières, la dépense de matériaux réfractaires

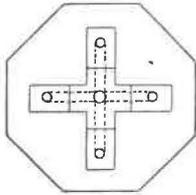
pour la coulée en source et les amortissements. Quant au coût de l'énergie électrique dépensée, il doit être peu important.

Il eût été intéressant de comparer ce prix de revient à celui des blooms, en tenant compte toutefois de la plus grande importance du déchet dans le cas des petits lingots.

Mais, l'on est encore à la période de mise en train et les chiffres qui m'ont été fournis ne correspondent pas à la marche régulière de l'installation nouvelle.

Je me bornerai donc à quelques indications à ce sujet me réservant de reprendre cette question ultérieurement.

La préparation de la coulée en source est la première opération dont je m'occuperai; elle est assez longue.



Dans les deux rainures en croix de blocs octogonaux, on place cinq briques spéciales, ainsi que l'indique la figure ci-contre; ces briques sont cimentées par un peu d'argile; elles pèsent 19 kilog. et coûtent environ fr. 0-50 par bloc.

Chacun de ces blocs sert de base à quatre petits lingots de 125, 190 ou 250 kilog. et à la mère.

Il faut en moyenne huit blocs pour une coulée complète et deux hommes travaillent pendant une heure pour relever les lingots d'une opération et préparer le bassin pour la suivante.

Or, d'après le chef de service, une opération dure au convertisseur 20 minutes se répartissant comme suit :

Chargement de la chaux . . . . .	1	minute.
Id. de la fonte . . . . .	3	minutes.
Soufflage . . . . .	10	id.
Décrassage et prise d'essai . . . . .	2	id.
Recarburation . . . . .	2	id.
Coulée de l'acier . . . . .	2	id.
Total. . . . .	20	minutes.

C'est pourquoi le bassin comprend plusieurs tronçons; l'un est réservé aux lingots de 350, 400 et 450 kilog., coulés en chute, deux autres sont utilisés pour la coulée en source; de cette façon l'un est en préparation tandis que l'autre est prêt à recevoir l'acier.

Lorsque celui-ci a été déversé dans la poche par le convertisseur, un appel de cloche prévient le personnel.

Le câble mis en place, on amène le chariot au bord de la fosse de la grue centrale, qui y dépose la poche par le procédé déjà indiqué en ce qui concerne l'ancienne grue de coulée de la fosse circulaire. C'est le mécanicien de cette dernière grue qui occupe la cabine du cabestan électrique, et le chariot est bientôt amené au dessus des lingotières préparées.

Le chef de coulée donne les signaux au mécanicien en frappant sur un timbre fixé au chariot; un ouvrier actionne suivant ses indications le levier de manœuvre du bouchon, tandis que lui même en agissant sur le volant de la vis du chariot, règle la position de la poche et la direction du jet de métal.

Quelques manœuvres ont pour mission, les uns de caler, en cas de besoin, l'une des roues du chariot, d'autres de couvrir les lingotières ou de les arroser.

On a d'ailleurs conservé le personnel de l'ancien bassin et, quant à la main d'œuvre, l'économie due à la nouvelle installation résulte surtout d'une augmentation possible de la production.

Dans les conditions anciennes, la main-d'œuvre par tonne de lingot était de fr. 2-50; elle pourra descendre à 2 francs environ.

Les frais d'entretien et de renouvellement des lingotières sont assez importants; d'après ce qui m'a été dit, la dépense de ce chef serait d'environ 1 franc par tonne.

Nous avons donc par tonne de lingots coulés en source :

Main-d'œuvre . . . . .	fr. 2-00
Produits réfractaires . . . . .	4-00
Lingotières . . . . .	1-00
Total des frais de coulée . . . . .	<u>fr. 7-00</u>

Ainsi que je l'ai annoncé plus haut, l'on ne peut utiliser les données qui précèdent pour établir une comparaison entre le prix des blooms et celui des petits lingots.

La pratique semble avoir condamné ceux-ci à cause de l'augmentation de déchet qu'ils entraînent et surtout parce qu'ils compliquent les opérations de la coulée.

L'on doit toutefois reconnaître qu'il est rationnel de partir de petits lingots pour l'obtention de barres de faible section, et que la suppression des bloomings réduit considérablement les immobilisations et la dépense de vapeur.

En terminant cette note, je tiens à signaler que l'emploi de l'électricité, qui actionne seule tout l'outillage de la nouvelle installation de Sclessin, a donné d'excellents résultats; c'est un nouveau succès remporté par cet agent sur la force hydraulique, jadis presque exclusivement employée dans nos aciéries.

Mars 1902.



# NOTE

SUR LES

## Accidents dus à l'emploi de l'Electricité

DANS LES MINES DE PRUSSE

PAR

A. HALLEUX

Ingénieur au Corps des Mines, à Bruxelles.

[6228 : 6213(43)]

Il peut être intéressant pour ceux qui s'occupent d'installations électriques dans les mines, de connaître d'après les documents officiels (1), les circonstances principales des accidents de personnes survenus pendant les années 1900 et 1901, dans les installations électriques des mines de Prusse, et les conclusions qu'on peut en tirer.

1. *Mine de Laurahütte (Kattowitz).* — Deux ouvriers devaient

démonter les lignes *a*, *b*, *c* (fig. 1), placées sur un poteau en bois. Les lignes *d* étant en service, et reliées à une centrale à 330 volts alternatifs, les ouvriers n'attendirent pas la mise hors-circuit de ce groupe pour commencer; l'un d'entre eux en voulant passer, suivant la flèche *f*, une clé à boulons à son compagnon, prit contact par le poignet droit avec un des fils *d*. Il perdit connaissance, mais put être immédiatement détaché du fil et l'acci-

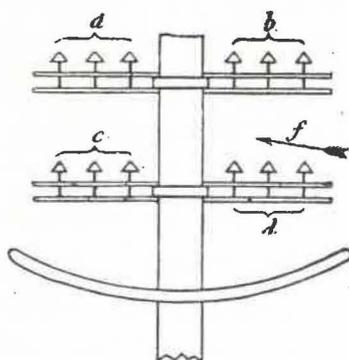


Fig. 1.

dent n'eût comme suite que des brûlures peu graves.

(1) *Zeitschrift für das Berg-, Hütten und Salinen Wesen*, 1901, Heft. 4

2. *Mine « d'Emma » (Streckau)*. — L'accident est survenu sur une canalisation conduisant des courants triphasés à haute tension. Les trois fils nus passaient à proximité du toit d'un séchoir à lignite et étaient attachés à un poteau fixé à l'angle de ce bâtiment. Un ouvrier monta sur le toit du séchoir et vint saisir deux des fils; quand on parvint à le détacher, il avait perdu la vie.

Aux points de contact, les fils étaient pliés et partiellement fondus. On ne sait quel a été le mobile de l'acte posé par cet ouvrier.

3. *Mine « Hermine » (Halle-Est)*. — La victime était occupée au transport d'un excavateur qu'on poussait au moyen de leviers sur une voie ferrée; cette machine devait passer, dans son trajet, à proximité de conducteurs nus sous une tension de 3,000 volts. La cheminée de l'excavateur vint en contact avec un des fils et l'ouvrier qui tenait à ce moment un levier contre une des roues fut tué.

Il est à noter que le temps était très sec.

4. *Mine « Concordia » (Oberhausen) (1)*. — L'installation de distribution d'énergie électrique au puits n° II a été faite par la Société A. E. G. La tension de la centrale est 1,100 volts en triphasés; elle est ramenée à l'étage n° 4 du puits à 200 volts et à 110 volts respectivement pour la traction mécanique et l'éclairage du bouveau principal. Cet éclairage se fait par lampes à incandescence de 16 bougies. L'une de ces lampes, entre autres, était fixée à environ 10 mètres de la voie de niveau de la couche Voss, et à 1<sup>m</sup>60 environ du sol. Les conducteurs y aboutissant étaient des fils de cuivre de 1 <sup>m</sup>/m de diamètre. Leur isolant consistait en une enveloppe de caoutchouc vulcanisé couvert de jute imprégnée, de manière à porter le diamètre du fil à 7 <sup>m</sup>/m. Immédiatement avant la lampe, sur une longueur de 6 centimètres environ, les conducteurs étaient roulés en spirale; en cet endroit, ils n'avaient plus que 3 <sup>m</sup>/m de diamètre total et l'isolant était constitué par une couche de gomme Para entourée de coton et de jute imprégnée. Les spirales étaient recouvertes par un abat-jour en tôle. La voie, dans le voisinage de cette lampe, était humide. Quelque temps avant l'accident, la victime fut aperçue par un hiercheur: elle procédait au nettoyage de la lampe. Peu après, ce hiercheur revenant avec un autre ouvrier, vit la victime de l'accident qui tenait avec les mains les fils de raccord de la lampe et criait

---

(1) Cet accident présentant un intérêt particulier, nous avons reproduit presque complètement les documents officiels qui y ont trait.

pour qu'on suspendît l'éclairage. Les deux témoins se hâtèrent aussitôt vers la chambre des machines située à 400 mètres de là, où ils donnèrent l'ordre d'interrompre les circuits d'éclairage. Cet ordre fut mal compris, de sorte que, quand ils revinrent avec le surveillant, ils trouvèrent la victime couchée sous la lampe, sur la voie; elle expira peu après.

Les fils conducteurs de la lampe n'étaient pas arrachés et la lampe était encore en service.

L'autopsie du sinistré fut faite; elle démontra que cet homme, âgé de 34 ans, ne présentait aucune tare physique et qu'il était dans un état de santé parfait.

Il est à noter, cependant, que la victime avait pris part à un repas de noces la veille et que, d'autre part, l'un des témoins affirme qu'il avait les mains mouillées au moment de l'accident.

Les deux ouvriers, témoins immédiats, déclarèrent aussi que l'isolant des fils spirales d'amenée du courant était en mauvais état; cette affirmation est en désaccord avec celle du surveillant des appareils électriques qui, peu après l'accident, a examiné les fils et a constaté que l'isolant était en bon état. Ce témoin fit observer, au surplus, que l'isolement employé dans ce cas était loin d'être parfait, à cause de l'humidité des lieux; que plusieurs fois il avait perçu le courant en touchant de tels fils isolés. Il déclare avoir vu, après l'accident, un des fils-spirales allongé et l'attache à la lampe légèrement pliée.

Un représentant de la Société A. E. G., cité comme expert et prié de répondre à la question de savoir si, en admettant que l'isolant eût été avarié au point touché, la mort de l'ouvrier eût pu s'en suivre, répondit négativement. Cet expert émit l'avis que la tension de 110 volts en alternatifs est généralement considérée comme très peu dangereuse, à moins que la peau de l'individu ne soit rendue particulièrement conductrice, comme c'est le cas pour les ouvriers des sucreries (action des sels de strontium); le travail des mines donne plutôt une certaine rugosité et une dureté particulière à la peau des mains, et l'humidité passagère ne paraît point devoir perfectionner le contact. La même personne manifesta son étonnement de ce qu'un homme vigoureux n'ait pu se débarrasser de fils de 1<sup>mm</sup> de diamètre, en les brisant; de même, il lui parut peu explicable que la victime ait abandonné les fils, attendu que généralement la crispation musculaire se produit; enfin, elle fit observer l'absence de brûlure aux points touchés.

Une autre expertise fut ordonnée par le tribunal arbitral. Le

rapport des nouveaux experts, après avoir rappelé les résultats de l'autopsie et avoir signalé que le cadavre n'avait présenté aucun signe net de la mort par asphyxie — comme c'est souvent le cas pour les électrocutés, — conclut comme suit :

1° Il est hors de doute que l'isolement était défectueux ; on ne peut établir si c'était le cas pour les deux fils ;

2° Si, en général, une tension de 110 volts alternatifs peut être regardée comme sans danger pour un homme adulte, il est hors de doute que dans des circonstances spéciales, la limite inférieure à laquelle les courants alternatifs cessent d'être dangereux est beaucoup plus basse.

On a, en effet, enregistré des cas de mort provoqués par des tensions de 110 et 120 volts.

L'électricité comme le chloroforme a une action variable suivant l'individu ;

3° Des brûlures se manifestent généralement aux points de contact ; mais dans l'espèce, les circonstances étaient toutes défavorables à une combustion ;

4° On peut expliquer d'une manière très naturelle comment la victime s'est détachée des fils : le sinistré supporta pendant un certain temps l'action du courant, puis il perdit connaissance et tomba ; les fils, qu'il serrait nerveusement, lui glissèrent des mains ; la spirale s'allongea et la main vint prendre contact avec une autre partie du fil, celle-ci bien isolée. L'action électrique cessa aussitôt et les mains abandonnèrent les conducteurs.

Le tribunal arbitral a adopté ces conclusions et a déclaré que la mort doit être attribuée à l'électricité.

5. *Mine de « Adolph von Hanseman » (Dortmund).* — Un moteur électrique destiné à faire fonctionner un monte-charges est desservi par une dérivation prise à la station centrale, produisant des courants triphasés à la tension de 550 volts. Ce moteur est placé à proximité du puits n° IV, dans une cabine normalement fermée à clé ; la porte de cette cabine ayant été laissée ouverte par mégarde, un ouvrier étranger au service pénétra dans ce local et vint toucher deux barres de l'interrupteur tripolaire du tableau du moteur. Quand on put le détacher, il avait la main complètement brûlée.

On peut tirer quelques renseignements utiles des relations qui précèdent :

a) L'accident n° 1 établit la nécessité d'imposer comme règle absolue, l'interdiction de travailler aux lignes sans mise hors-circuit préalable, non seulement des lignes qui sont en cause, mais encore de celles qui sont immédiatement voisines. Une bonne mesure consiste, dans ces cas, à mettre les fils en court-circuit à proximité des points où la réparation a lieu, ou à faire une ou plusieurs « terres ».

b) L'accident n° 2 montre l'utilité de rappeler au personnel, par des plaques indicatrices apparentes portant : « Danger de mort », le danger offert par les canalisations à haut potentiel.

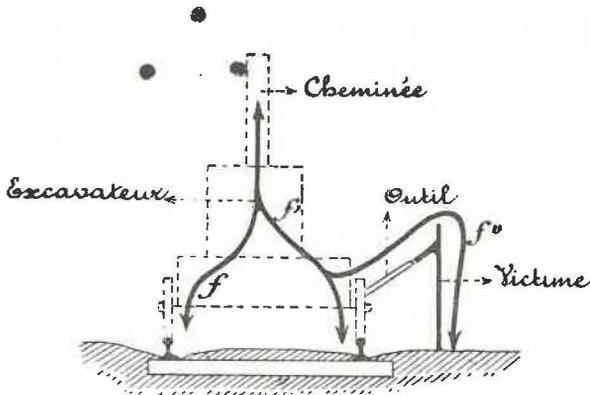


Fig. 2.

c) L'accident n° 3 permet de faire une remarque intéressante : le fil à haute tension était raccordé à la terre par la cheminée de l'excavateur, le train de roues de celui-ci et les rails : quoique cela, un ouvrier touchant une des roues avec un objet métallique fut parcouru par une dérivation assez intense pour donner la mort. Le courant a suivi les voies indiquées par les flèches  $f$ ,  $f'$  et  $f''$  de la figure 2. L'accident n'a eu lieu qu'à cause des pertes à la terre que

l'ensemble de la canalisation présentait. D'autre part, il est clair que si les rails avaient constitué une « terre » parfaite, et, si les résistances de contact des essieux dans les coussinets et celles de la jante des roues sur les rails avaient été très faibles, toute la dérivation aurait passé par les roues. En ce qui concerne le premier point, l'enquête rapporte que le temps était sec; il est donc très probable que les rails constituaient une terre imparfaite. Ces circonstances confirment ce que l'expérience a montré : les appareils préventifs qui utilisent les « terres » (tels que les filets, anneaux de garde, etc.) doivent être raccordés au sol avec grand soin si l'on ne veut pas que ces appareils préventifs apportent un risque nouveau.

d) L'accident n° 4 est une preuve nouvelle que les bas voltages, en courants alternatifs, tel 110 volts, réputés sans danger, peuvent dans certaines circonstances donner la mort; il vient confirmer les opinions que nous émettions dans un travail précédent (1) et montre que les affirmations courantes en cette matière ne doivent être acceptées qu'après contrôle.

L'enquête médicale à laquelle il a été procédé a démontré que le cadavre ne présentait aucun caractère spécial; l'autopsie ne peut donc faire reconnaître s'il y a électrocution et inversement.

Au point de vue technique, on peut observer que :

1° Il est nécessaire d'apporter des soins spéciaux dans les enveloppes isolantes des câbles destinés à être placés dans les travaux souterrains; ces câbles doivent être protégés par une garniture métallique;

2° Des visites périodiques doivent être exécutées; de même de fréquentes mesures de l'isolement des divers branchements;

---

(1) Les dangers de l'électricité, *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, p. 427.

3° Il y a lieu d'étudier la disposition des fils de raccord des lampes, pour éviter le retour d'accidents de l'espèce;

4° Le personnel surveillant les installations électriques doit être mis en garde contre le danger des basses tensions.

e) L'accident n° 5 montre la nécessité qu'il y a d'interdire l'accès des locaux où se trouvent les appareils électriques, aux personnes non désignées pour le service.

Subsidiairement, on peut remarquer que les pièces métalliques sous tension étant placées systématiquement à l'arrière du tableau, semblable accident n'aurait vraisemblablement pas eu lieu.

# NOTE

SUR

## L'EMBARQUEMENT DES EXPLOSIFS A LIEFKENSHOEK

---

Comparaison du chargement mécanique  
et du chargement à la main, au point de vue  
de la sécurité

PAR

M. GUCHEZ

Inspecteur général des explosifs

[6622(493)]

---

Les manipulations d'explosifs sur l'Escaut maritime, en rade de Liefkenshoek, comportent surtout deux sortes d'opérations : 1° le dépôt en allèges d'explosifs amenés par un navire faisant escale à Anvers, et le rembarquement de ces explosifs sur le même navire à sa sortie du port ; 2° l'embarquement, pour l'exportation par mer, d'explosifs indigènes ou étrangers arrivés par bateaux à Liefkenshoek (1). Les chargements et les déchargements s'opérant de la même façon, je n'envisagerai, dans ce qui va suivre, que le chargement des navires de mer.

---

(1) Un même navire effectue parfois ces deux sortes d'opérations.

Fig. 2. — Elevation.

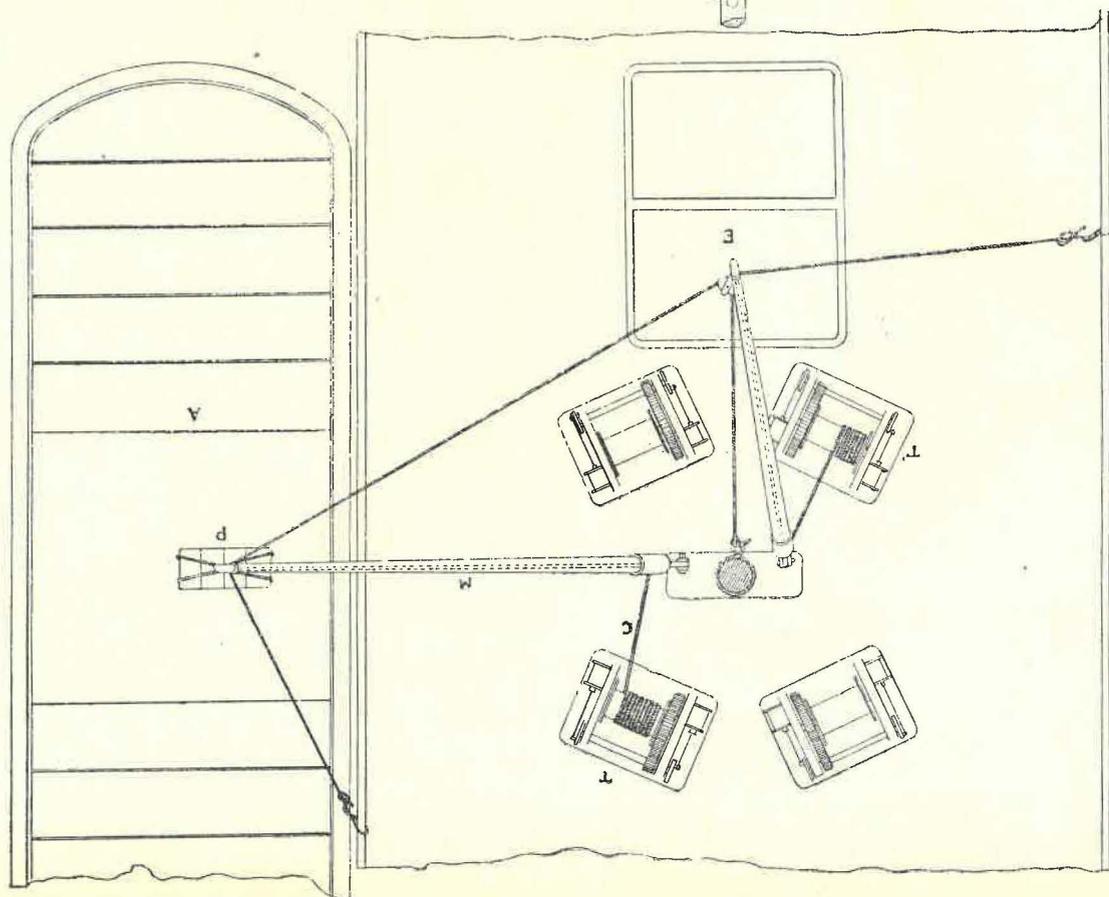
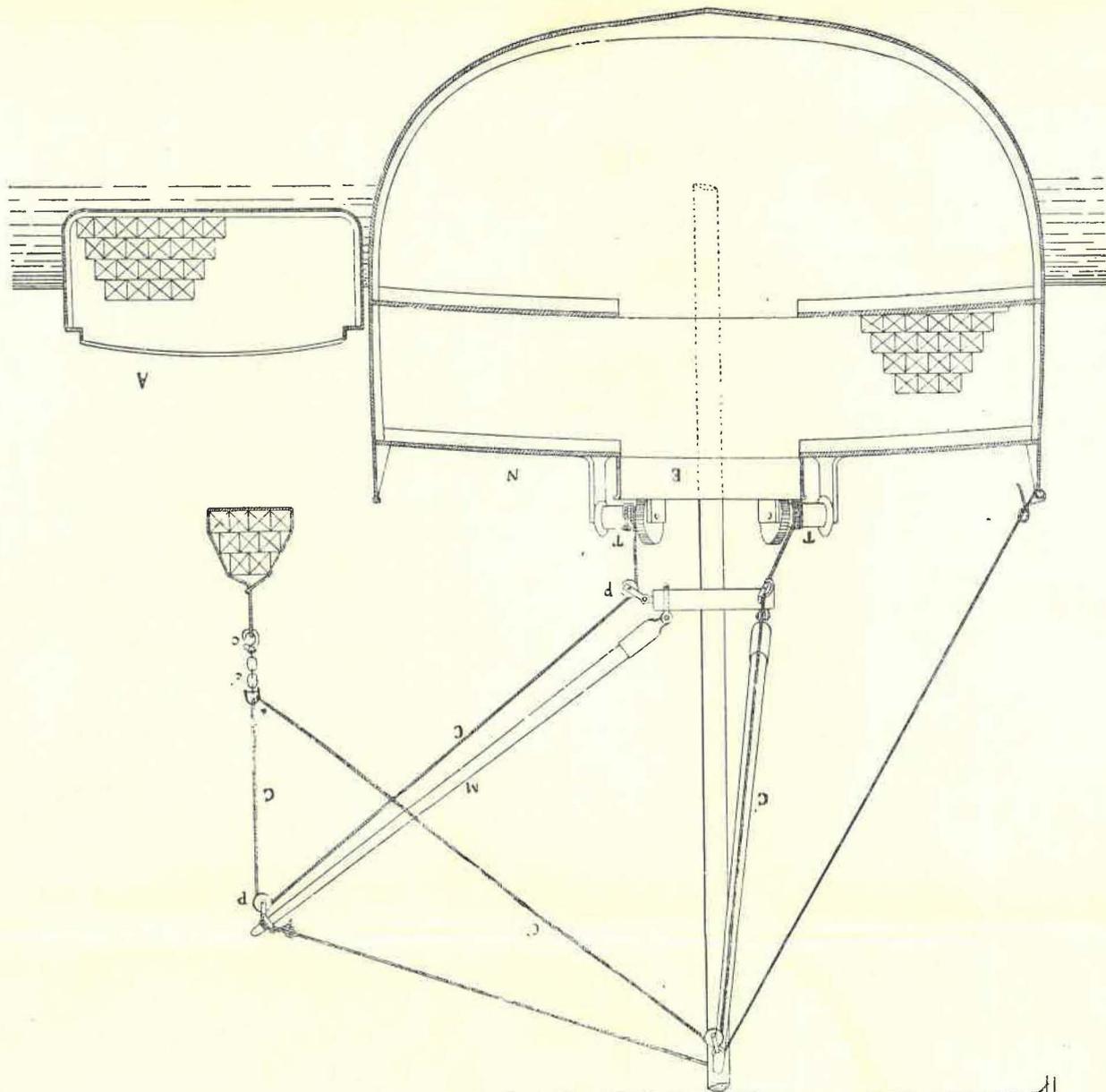


Fig. 1. — Plan

Ce chargement se fait *à la main* ou *mécaniquement*.

Dans le premier mode, adopté en tous pays pour l'embarquement des dynamites, on se sert de paliers volants étagés sur le flanc du navire pour élever les caisses, une à une, sur le pont ; de là on les fait glisser dans la cale, à l'aide de planches inclinées munies de rebords. On veille à ce que les caisses arrivent au fond avec une vitesse modérée et l'on dispose, aux endroits voulus, des matières élastiques pour amortir les chocs. Il va de soi que les paliers sont assujettis de façon à ne pouvoir basculer.

Pour le chargement mécanique, on utilise les engins du bord : mâts de charge, treuils à vapeur, poulies, câbles en fer ou en acier, chaînes, crochets, cordages. Pour mettre à bord d'un navire  $N$  des explosifs — ou toute autre marchandise — contenus dans une allège  $A$  amarrée le long de ce navire (*voir* fig. 1 et 2), on procède généralement comme suit :

1° Les colis, serrés dans une élingue suspendue au crochet  $c$  d'une chaînette terminale  $c'$ , sont élevés à la hauteur convenable, au moyen du treuil  $T$  et du câble  $C$ , passant sur les poulies  $P$  et  $p$  du mât de charge  $M$  ;

2° On les attire à l'aplomb de l'écoutille de chargement  $E$ , à l'aide du treuil  $T'$  et du cordage  $C'$ . Pour accomplir cette manœuvre, on renverse la marche du treuil  $T$ , afin de mollir le câble  $C$  et de permettre au point d'attache  $a$  de céder à la traction du cordon  $C'$  ;

3° Enfin, on laisse descendre la charge dans la cale, à l'aide du treuil  $T''$  marchant à contre-vapeur (1).

Par des manœuvres inverses, on rétablit l'état de choses primitif, pour transborder une nouvelle charge.

---

(1) Le déroulement des câbles  $C$  et  $C'$  continue jusqu'à ce que la charge soit déposée dans la cale.

Aux termes de l'article 191 du règlement sur les explosifs, article modifié par l'arrêté royal du 28 janvier 1895, il est loisible aux expéditeurs d'embarquer les explosifs à bras d'hommes lorsque les quantités ne dépassent pas 1,000 kilog.; pour les quantités supérieures, le transbordement mécanique est de rigueur. Les colis doivent être contenus dans une cage fermée, le poids d'une cage et de sa charge ne peut excéder 500 kilog., le diamètre des câbles ne peut descendre au-dessous d'un certain minimum, et l'on est tenu de vérifier soigneusement ces câbles avant leur emploi (1).

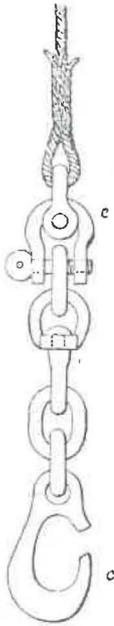


Fig. 3.  
Détails de  
la chaînette cc'

Officiellement, l'embarquement mécanique est donc considéré comme plus sûr que l'embarquement à la main.

A l'époque où la question du mode d'embarquement fut examinée, je n'avais pas la compétence spéciale nécessaire pour la discuter en toute connaissance de cause. Depuis lors, il m'a été donné d'assister à nombre d'embarquements opérés par l'une et l'autre méthode, et j'ai acquis la conviction que l'emploi des cordes, câbles, chaînes, treuils à vapeur, etc., est une source d'accidents, tandis que le chargement à la main est sans danger.

(1) Comment doit-on faire cette vérification *soignée*? Le règlement ne le dit pas.

Voici les considérations sur lesquelles je fonde mon opinion.

A. — *Risques d'accidents par suite de ruptures.*

Le danger capital du chargement mécanique réside dans les risques de rupture inhérents à ce système, et contre lesquels on ne peut toujours se prémunir; or, toute rupture entraîne une *chute* dont la hauteur atteint 10 à 12 mètres, suivant les cas, et l'on conçoit combien est grand le danger que l'on court alors si l'on manie des explosifs pouvant détoner par le choc.

On reconnaît aisément que les ruptures suivantes peuvent survenir :

1<sup>o</sup> Rupture des câbles, chaînes, crochets sur lesquels agit la charge, et qui peuvent être plus ou moins défectueux. Ces ruptures sont possibles en toute circonstance et surtout si le mécanicien, faute d'attention, surélève les caisses jusqu'à heurter le mât de charge. En cette occurrence, s'il n'y a pas bris du câble, de la chaînette ou de la poulie du mât de charge, le choc peut désarrimer les colis et en provoquer néanmoins la chute.

Les câbles et chaînes en fer ou en acier sont particulièrement exposés à se briser quand ils sont soumis à des à-coups, comme il s'en produit lorsque le mécanicien enlève brusquement la charge. Ces accidents sont surtout à craindre en hiver, lorsque le froid rend le métal cassant.

Il arrive assez souvent, d'ailleurs, que certaines parties des câbles ou des chaînes métalliques sont recouvertes de

cambouis, et la vérification minutieuse en devient alors très difficile (1).

Les ruptures de chaînes surviennent à des grues fonctionnant avec douceur, bien surveillées et bien entretenues. Il y a quelques semaines, à la grande bigue hydraulique du bassin *Kattendijk*, à Anvers, une chaîne calculée pour supporter un poids de 120 tonnes s'est rompue sous une charge de 15 tonnes seulement ;

2° Rupture de la boucle qui termine le câble et à laquelle la chaînette et la charge sont suspendues. (Usure de cette boucle, surtout si elle n'est pas garnie d'une cosse ; *glissement* de l'épissure) ;

3° Rupture de l'attache du câble (ou de la chaîne) au tambour du treuil. Tout récemment encore, à Anvers, pendant qu'on hissait, à bord du bateau *Otto Woermann*, un fût d'huile de palme pesant de 700 à 800 kilog., la chaîne du treuil glissa sur le tambour et se déroula : le fardeau alla s'écraser dans la cale ;

4° Rupture de l'élingue qui étroit les colis. Une élingue n'ayant jamais servi et, par conséquent, réputée solide, peut n'offrir qu'une sécurité trompeuse si elle a éprouvé, à la suite d'un long séjour en magasin, une sorte de fermentation qui, en altérant les fibres du textile, en a diminué la ténacité (1).

En outre, une élingue excellente au début peut s'endommager au cours du travail, à la suite des frottements et des plis répétés qu'elle éprouve au contact des arêtes des caisses ;

---

(1) Il suit de tout cela que la vérification des câbles, chaînes et cordages, pour être efficace, devrait consister en un essai de résistance à la traction, et non en un simple examen superficiel. On conviendra que de pareils essais seraient bien assurés, tant pour l'arrimeur que pour l'inspecteur chargé de la surveillance.

5° Rupture d'un organe important du moteur, tel que bielle, piston, dents d'engrenage ou de pignon, etc. Dans ce cas, à cause des résistances passives et de l'inertie des pièces en mouvement, la chute est ralentie et le choc amoindri ; mais, dans toute manipulation d'explosifs, tout choc un peu rude doit être soigneusement évité ;

6° Rupture d'un tuyau de prise de vapeur : cette éventualité est susceptible des mêmes suites et donne lieu à la même observation que la précédente ;

7° Rupture de la chaîne de retenue d'un mât de charge. Il y a environ un an, à Liefkenshoek, au moment de commencer un chargement de poudre important, la chaîne de retenue d'un mât de charge qu'on devait utiliser s'est rompue : ce mât a basculé et s'est abattu sur le pont, sans blesser heureusement personne.

On peut prévenir, il est vrai, les conséquences des ruptures 5° et 6° en serrant le frein dont le tambour du treuil est pourvu. Mais comme ce frein est toujours à pédale et que son action commence et s'arrête avec la pression du pied, cet appareil est illusoire si le mécanicien, affolé par un accident subit, abandonne son poste.

..

Les risques de rupture que je viens d'énumérer, et qui sont en quelque sorte classiques, ne sont pas les seuls qui fasse courir le chargement mécanique des explosifs ; il en est certainement d'autres, qu'il est moins facile de prévoir. En voici un exemple. Le 21 novembre dernier, pendant un chargement de poudres sur l'*Albertville*, à destination du Congo, le câble métallique du treuil d'ascension s'échappa de la gorge de la poulie inférieure du mât de

charge, et se logea entre cette poulie et sa chape. Comme on s'aperçut immédiatement de l'incident, on serra le frein et l'on dégageda le câble, dont la rupture fut ainsi prévenue. Ce câble avait été simplement étripé, sans rupture de fils.

B. — *Risques d'accidents par des causes autres que les ruptures.*

Accessoirement, d'autres circonstances que les ruptures peuvent amener la chute des colis. Ainsi, des *chocs* sont à craindre pour peu que l'on veuille hâter le départ : la grappe de colis, dans ses oscillations, peut heurter les flancs du navire, les hiloires de l'écoutille, etc., et l'éventrement d'un colis, voire la chute de toute la grappe, peuvent s'ensuivre.

Les chutes sont encore possibles si les colis ont été mal arrimés dans l'élingue, si les brins de celle-ci sont trop rapprochés, si enfin l'élingue n'a pas été suffisamment serrée.

Ces éventualités sont notamment à redouter quand les explosifs sont contenus dans des cylindres métalliques à surface lisse.

L'emploi des cages réglementaires affranchirait sans aucun doute des accidents que peuvent entraîner la mauvaise qualité des élingues ou un élinguage défectueux ; mais on reproche aux cages d'être encombrantes, de constituer un poids mort considérable relativement à la charge utile, de ne pas s'adapter toujours aux formes et dimensions variables des colis, et enfin d'occasionner une perte de temps importante pour leur chargement et leur déchargement. De fait, l'emploi des cages complique et ralentit les manœuvres au point que la prescription réglementaire qui les impose n'est pas et ne peut être pratiquement respectée.

Des personnes dignes de foi et bien informées m'assurent qu'il ne se passe pour ainsi dire pas de jour sans qu'un accident dû à l'une ou l'autre des causes précitées n'arrive au port d'Anvers. Tout se borne à des dégâts purement matériels ne compromettant en aucune façon la sécurité publique; mais en serait-il de même si les colis manipulés contenaient des matières susceptibles de détoner par le choc? Assurément, non; or ce qui se produit à Anvers peut très bien se produire à Liefkenshoek.

Si l'on examine maintenant les conditions dans lesquelles s'opère l'embarquement à la main, on reconnaîtra qu'il n'expose à aucun danger sérieux. Ce qui peut arriver de plus fâcheux, c'est qu'en hiver ou en cas de houle, un colis retombe dans l'allège, ce qui est sans danger, ou glisse dans le fleuve (1).

Dans ce mode de faire, il ne peut jamais tomber qu'un seul colis à la fois (et cela d'une faible hauteur) tandis que dans le travail mécanique la chute d'une grappe de dix à quinze est possible, ce qui multiplie d'autant les risques d'explosion. Depuis l'année 1894 jusqu'à ce jour, la maison *Eiffe*, d'Anvers, a embarqué à la main sept millions de kilog. (poids brut) de dynamites diverses, sans le moindre accroc.

---

(1) En cas de chute d'une caisse de dynamite-gomme ou de dynamite-gélatine, on s'attachera à la repêcher sans délai, avant qu'elle se soit enlisée dans la vase, où elle pourrait pendant très longtemps constituer un danger pour la navigation. Il serait même prudent de repêcher la simple dynamite à la guhr.

Outre sa simplicité et sa sûreté, le chargement à la main présente l'avantage secondaire, mais apprécié par les armateurs, d'être plus expéditif que le chargement mécanique. Il n'a qu'un léger défaut, c'est que, nécessitant un personnel plus nombreux, il entraîne un peu plus de frais ; mais, même si l'on fait abstraction de la perte des capitaux que représentent un grand navire et sa cargaison, la vie de l'équipage, des passagers et des riverains ne peut être mise en balance avec une mesquine question d'argent.

. . .

Je crois pouvoir conclure, de l'exposé qui précède, qu'en tant qu'il s'agit d'explosifs susceptibles de détoner par le choc, l'embarquement à bras d'hommes devrait être la règle, et qu'il ne faudrait tolérer l'embarquement mécanique que dans des cas exceptionnels.

Bruxelles, le 14 décembre 1901.

---

# LA PREVENTION DES ACCIDENTS

## EN ALLEMAGNE

D'APRÈS LES

STATISTIQUES DE L'OFFICE IMPÉRIAL DES ASSURANCES

PAR

JOSEPH BRUGHMANS

Ingénieur du Génie civil, des Arts et Manufactures et des Mines,  
Inspecteur principal du Travail.

[331823(43)]

L'étude de la prévention des accidents est d'une importance capitale à la veille de la discussion de la loi sur la réparation des dommages résultant des accidents du travail.

Cette question, en effet, en négligeant momentanément toute considération humanitaire, intéresse au premier chef, les patrons, les ouvriers et les assureurs.

Les patrons, assurés ou non assurés, parce que l'application judicieuse des dispositifs de prévention couvre, en cas de sinistre, leur responsabilité au point de vue pénal.

Les ouvriers, parce que les appareils de prévention choisis et placés avec discernement, dans chaque cas spécial, réduisent au moindre risque la perte ou la diminution du capital qu'ils engagent dans l'exécution du contrat de travail.

Les assureurs, parce que l'emploi de ces dispositifs ou appareils a pour but de prévenir les sinistres et comme résultat certain d'en diminuer le nombre, ce qui équivaut à augmenter les bénéfices des Compagnies.

Nous nous proposons d'examiner ce qui a été tenté en cette matière en Allemagne, où les publications statistiques officielles sont les plus récentes et les plus complètes, les résultats qui ont été obtenus et ceux qui sont encore à atteindre.

En 1890, l'Office Impérial des Assurances de l'Empire publiait les *Unfallstatistik* pour l'année 1887, et signalait que sur 15,416 victimes d'accidents du travail indemnisées par la Caisse d'assurance des accidents au cours de l'exercice, 3,156 ou 20.47 % avaient été frappées par la faute de l'employeur, 4,094 ou 26.56 % par la faute de l'employé et 711 ou 4.61 % par la faute simultanée de l'employeur et de l'employé.

En 1900, l'Office Impérial publiait les *Unfallstatistik* pour 1897, et signalait que sur 44,896 victimes indemnisées, 7,547 ou 16.81 % avaient été frappées par la faute de l'employeur, 13,419 ou 29.89 % par la faute de l'employé et 2,092 ou 4.66 % par la faute simultanée de l'employeur et de l'employé.

En une période de 10 ans donc, la proportion de victimes d'accidents du travail imputables à la faute de l'employeur, passe de 20.47 % à 16.81 %, soit une diminution de 3.66 %, tandis que la proportion des victimes imputables à la faute de l'employé augmente de 26.56 % à 29.89 % ou de 3.33 %.

Si nous recherchons les causes de la diminution du pourcentage des victimes imputables à la faute de l'employeur, nous constatons qu'en 1887, 1,700 victimes sur 15,416 ou 11.03 % avaient été frappées par suite de l'absence d'appareils protecteurs, alors que pour 1897, ce chiffre se réduit à 3,511 victimes sur 44,896 ou 7.82 %, soit une différence de 3.21 %. Presque toute la diminution constatée sur le pourcentage des victimes imputées à la faute de l'employeur, soit 3.21 sur 3.66 provient donc de l'emploi des dispositifs de prévention.

C'est incontestablement un chiffre qui a son éloquence. Mais si nous en détaillons la composition, il parle bien plus et bien mieux encore. Il s'établit en partie avec les éléments du tableau suivant :

## CAUSES MATÉRIELLES DES ACCIDENTS

	Moteurs		Trans- missions		Machines outils		Appareils de levage		Matières incan- descentes, brûlantes ou corrosives.		Chutes de Pouvrier	
	1887	1897	1887	1897	1887	1897	1887	1897	1887	1897	1887	1897
Nombre total de victimes déclarées . . .	216	437	369	715	2803	7998	899	2234	857	1541	2313	5439
Nombre total de victimes indemnisées par l'assurance . . . . .	210	424	360	702	2780	7879	832	2169	719	1459	2237	5246
Nombre de victimes attribuables à l'absence de dispositifs de préven- tion contre les accidents . . . .	32	40	89	98	746	1549	105	137	71	104	265	415
Pourcentage du nombre de victimes imputables à l'absence de dispositifs de prévention, par rapport au nom- bre de victimes indemnisées par l'as- surance . . . . .	15.24	9.43	24.72	13.96	26.84	19.66	12.62	6.31	9.88	7.13	11.85	7.91

De l'examen de ce tableau on déduit qu'en 1887, l'emploi des moteurs dépourvus de dispositifs de prévention avait causé 32 victimes sur un chiffre total de 210 victimes indemnisées, soit 15.24 %. En 1897, ce pour cent s'abaisse à 9.43, soit un gain de 5.81 %. En 1887, les accidents causés par les transmissions non garnies de dispositifs de prévention, élèvent le chiffre des victimes à 89 sur 360, soit à 24.72 %. En 1897, ce pour cent se réduit à 13.96 %, soit un gain de 10.76 %.

Et ainsi de suite : gain de 7.18 % dans l'emploi des machines-outils, dûment protégées depuis 1887 ; gain de 6.31 %, dans l'usage des appareils de levage munis de garants ; de 2.75 % pour les matières incandescentes ou corrosives ; de 3.94 % pour les chutes d'échelles, etc.

Au total, d'après les *Unfallstatistik*, en dix années, l'application aux machines, de garants de protection contre les accidents, a fait tomber de 23.24 % à 16.32 %, soit une réduction de 6.92 %, la catégorie des sinistrés attribuables au défaut de prévention.

En effet, en 1887, le nombre déclaré de victimes causées par les machines était de 4,287, dont 4,182 indemnisées et 972 ou 23.24 % dues à l'absence de dispositifs de protection.

En 1897, pour 11,384 victimes déclarées, dont 11,174 indemnisées, 1,824 ou 16.32 % étaient attribuables à ce défaut de prévention.

Toutes ces réductions sont notables, mais l'idéal serait de les diminuer jusqu'à 0.

Pour atteindre ce résultat, les corporations professionnelles allemandes mettent en œuvre tous les moyens possibles. Ce sont elles qui, en conformité du § 112 de la loi du 30 juin 1900, relative à la modification des lois d'assurance contre les accidents, formulent les dispositions ou les règlements à prendre en vue de la prévention des accidents

dans leurs entreprises respectives. Ces dispositions sont applicables aux intéressés, soit sous peine d'amendes s'élevant jusqu'à 1,000 marks, soit sous la sanction de l'inscription de l'entreprise des contrevenants dans une classe de risques supérieurs, ou, si elle était déjà rangée dans la classe de risques la plus élevée, de la majoration de leurs cotisations jusqu'à concurrence du double. Ce sont elles encore qui, par voie de circulaire, adressent à leurs associés, en vue de les faire profiter des enseignements à tirer pour l'avenir des accidents du travail, une relation succincte de tout accident grave qui aurait pu être évité ou réduit par l'application d'un dispositif de prévention. La description d'un ou de plusieurs de ces dispositifs de prévention accompagne l'envoi de la circulaire précitée et indique les établissements industriels où ces dispositifs sont appliqués à des machines semblables à celle qui a causé l'accident. ' .

Ce sont également ces corporations qui ont rassemblé la superbe collection de photographies de différents appareils de prévention en usage dans les usines allemandes, que nous avons pu admirer à l'Exposition universelle de Paris, en 1900.

Ces corporations professionnelles d'assurances sont au nombre de 113, dont 65 industrielles et 48 agricoles.

Les 65 corporations industrielles, les seules dont nous occupons actuellement, sont réparties en 18 groupes, abstraction faite des industries exploitées par les administrations publiques.

Nous notons ci-dessous, pour l'année 1897, le nombre déclaré de victimes d'accidents dans chacun des 18 groupes précités, le pourcentage correspondant par 1,000 ouvriers assurés et le numéro d'ordre de danger de chacun des groupes d'après ce pourcentage.

GROUPES D'INDUSTRIE	Nombre de victimes déclarées.	Par 1,000 ouvriers.	N <sup>o</sup> d'ordre de danger.
Mines . . . . .	5,670	12.09	2
Carrières . . . . .	1,554	11.94	3
Verrerie, poterie, tuilerie . .	1,486	5.12	13
Fer et acier . . . . .	6,873	8.92	9
Métaux, fine mécanique, ins- truments de musique . . . . .	1,190	4.67	15
Chimie . . . . .	1,007	7.76	10
Gaz et eaux . . . . .	179	5.14	12
Industrie textile . . . . .	2,394	3.25	16
Papier, imprimerie . . . . .	1,115	4.68	14
Cuir, vêtement . . . . .	587	3.07	18
Bois . . . . .	2,868	11.77	4
Industrie alimentaire, bouche- rie, tabacs . . . . .	726	3.12	17
Meunerie, sucrerie, distillerie, brasserie, malterie. . . . .	3,018	10.51	7
Bâtiment . . . . .	10,349	11.59	5
Chemins de fer privés . . . . .	293	5.42	11
Expédition, entreposage, trans- port . . . . .	2,668	14.15	1
Navigation intérieure . . . . .	527	11.35	6
Navigation maritime. . . . .	397	8.95	8

D'après ce tableau, l'industrie qui serait à classer comme causant au total le plus de victimes d'accidents du travail serait l'industrie des expéditions, entreposages, transports par voie ordinaire; l'exploitation des mines viendrait en second rang et celle du cuir et du vêtement en dernier rang.

Mais, si nous considérons le nombre d'accidents qui se sont produits par 1,000 ouvriers dans chacun de ces groupes d'industrie, depuis 1885 jusqu'en 1897, cet ordre de danger se modifie de la façon suivante : L'industrie du bois prend le n° 1 avec 86.95 ‰ de victimes, les carrières occupent le n° 2 avec 85.03 ‰, l'industrie des expéditions le n° 3 avec 83.88 ‰, les mines le n° 4 avec 79.03 ‰, la meunerie, la sucrerie, la distillerie, la brasserie et la malterie le n° 5 avec 73.39 ‰, l'industrie du bâtiment le n° 6 avec 70.17 ‰, l'industrie du fer et de l'acier le n° 7 avec 66.45 ‰, la navigation intérieure le n° 8 avec 60.14 ‰, l'industrie chimique le n° 9 avec 56.25 ‰, la navigation maritime le n° 10 avec 49.53 ‰, l'industrie du gaz et des eaux le n° 11 avec 41.97 ‰, l'industrie du papier et l'imprimerie le n° 12 avec 34.23 ‰, l'industrie de la verrerie, de la glacerie et de la tuilerie le n° 13 avec 33.05 ‰, l'industrie des métaux, la mécanique fine et la fabrication des instruments de musique le n° 14 avec 32.65 ‰, l'exploitation des chemins de fer privés le n° 15 avec 28.26 ‰, l'industrie du cuir et du vêtement le n° 16 avec 23.44 ‰, l'industrie textile le n° 17 avec 23.17 ‰ et enfin l'industrie alimentaire et les tabacs le n° 18 avec 15.31 ‰.

Et maintenant, pour connaître l'importance qui a été attachée à la prévention des accidents dans chacun de ces groupes d'industries, nous dressons le tableau que voici, relatif à l'année 1897. Les chiffres correspondants pour 1887 nous font, malheureusement, défaut.

GROUPES D'INDUSTRIE	Nombre de victimes déclarées	Nombre de victimes indemnisées	Nombre de victimes imputables à l'absence de dispositifs de prévention	Pourcentage du nombre des victimes non indemnisées	Pourcentage du nombre de victimes indemnisées imputables à l'absence de dispositifs de pré- vention	Nombre par 1000 assurés des victimes indemni- sées imputables à l'absence de dispositifs de prévention	No d'ordre d'après le pourcentage précité	No d'ordre d'après le nombre de victimes, par 1000 ouvriers assurés
Mines . . . . .	5670	5472	254	3.49	4.64	0.54	14	9
Carrières . . . . .	1554	1523	132	1.99	8.67	1.02	7	2
Verreries, glaceries et tuileries . . . . .	1486	1475	179	0.74	12.14	0.62	4	7
Fer et acier . . . . .	6873	6773	534	1.45	7.88	0.69	10	6
Métaux, fine mécanique, instr. de musique. . . . .	1190	1175	158	1.26	13.45	0.62	3	7
Chimie . . . . .	1007	961	49	4.57	5.10	0.38	13	13
Gaz et eaux . . . . .	179	176	14	1.68	7.96	0.40	9	11
Industrie textile . . . . .	2394	2364	246	1.25	10.41	0.33	5	14
Papier, imprimerie . . . . .	1115	1102	93	1.17	8.44	0.39	8	12
Cuir, vêtements . . . . .	587	575	148	2.04	25.74	0.78	1	4
Bois . . . . .	2868	2823	508	1.57	18.00	2.08	2	1
Alimentation, boucherie, tabacs . . . . .								
Meunerie, sucrerie, brasserie, malterie, dis- tillerie . . . . .	726	723	71	0.41	9.82	0.31	6	15
Bâtiment . . . . .	3018	2947	227	2.35	7.70	0.79	11	3
Chemins de fer privés . . . . .	10349	10129	648	2.13	6.40	0.72	12	5
Expédition, entreposage, transports . . . . .	293	289	10	1.37	3.46	0.19	17	16
Navigation intérieure . . . . .	2668	2572	104	3.60	4.04	0.55	16	8
Navigation maritime . . . . .	527	485	21	7.97	4.33	0.45	15	10
	397	326	3	17.88	0.92	0.07	18	17
	41746	40759	3316	2.34	7.82	0.64		

En 1897 donc, sur 40,759 victimes indemnisées, 3,316 ou 7.82 % sont imputables à l'absence de dispositifs de protection dans les industries rangées parmi les 18 groupes de corporations professionnelles industrielles.

Ces 3,316 victimes, qui auraient pu être épargnées si les garants de protection consacrés par la pratique et imposés par les ordonnances des *Berufsgenossenschaften* avaient été placés, se répartissent comme suit :

Personnes âgées de moins de 16 ans	159
Id. de 16 à 18 ans . .	220
Id. de 18 à 20 ans . .	217
Id. de 20 à 30 ans . .	889
Id. de 30 à 40 ans . .	768
Id. de 40 à 50 ans . .	556
Id. de 50 à 60 ans . .	354
Id. de 60 à 70 ans . .	132
Id. de plus de 70 ans .	17
Id. d'âge inconnu . .	4

Les indemnités payées à ces victimes ou à leurs ayants-droits se sont élevées à 769,011 marks, ce qui représente 6.75 % de la somme globale de 11,395,171 marks déboursée en 1897 par les Caisses d'assurances des *Berufsgenossenschaften*. Ces 769,011 marks auraient été écomisés si les dispositifs préconisés par les ordonnances de prévention avaient été appliqués.

Quant aux conséquences que les infractions aux règlements et ordonnances des *Berufsgenossenschaften*, résultant de l'absence des dispositifs de prévention contre les accidents, ont entraîné pour les chefs d'industrie, elles ne nous sont pas connues.

Les pénalités réglementaires que la loi sur l'assurance contre les accidents sanctionne, ne constituent d'ailleurs pas, en Allemagne, des peines au sens du code pénal.

Nous nous proposons d'étudier prochainement les diverses prescriptions des ordonnances de prévention des *Berufsgenossenschaften* approuvées par l'Office Impérial des Assurances, la méthode qui a été suivie pour les arrêter ainsi que les difficultés d'application qu'elles présentent ou qu'elles ont présenté.

Il suit encore de l'examen du tableau qui précède que c'est dans l'industrie du bois que le nombre de victimes imputables par 1000 ouvriers assurés, à l'absence de dispositifs de prévention est le plus élevé (2.08), tandis que c'est dans la navigation maritime que ce nombre est le plus réduit (0.07).

D'autre part, c'est dans l'industrie du cuir et du vêtement que le pourcentage de ces victimes, par rapport au nombre absolu des victimes indemnisées, est le plus grand (25.74) et dans la navigation maritime encore qu'il est le plus petit (0.92). L'industrie du bois, qui accuse 18 % de victimes imputables à l'absence de dispositifs de protection, occupe le n° 2 dans le classement de ces pourcentages. C'est incontestablement l'industrie où il y a encore le plus de progrès à réaliser ; cela tient à la défiance des ouvriers pour l'emploi d'appareils auxquels ils ne sont pas habitués. Les patrons allemands s'appliquent journellement à vaincre cette défiance ; ils partent de ce principe, et nous estimons qu'ils sont dans le vrai, que les appareils de prévention ne peuvent nécessairement empêcher tout accident de se produire, mais doivent avoir pour but de réduire le risque accident dans la limite du possible, sans toutefois gêner l'ouvrier dans l'exécution de son travail. Malheureusement, les ouvriers s'imaginent aisément, dès qu'un dispositif de prévention ne les protège pas complètement, qu'il est à rejeter comme imparfait. De plus, si ces ouvriers travaillent à la pièce, ils objectent, dans le cas où l'appareil doit parfois être réglé, qu'il aura pour effet de réduire la production et ils refusent d'en faire usage. A notre avis, si un dis-

positif de prévention protège les ouvriers contre une partie des dangers qu'ils encourent, cela est suffisant pour l'appliquer en attendant mieux. En effet, si l'on ne peut dans certains cas que réduire les risques d'accident au lieu de les supprimer, c'est un résultat qui n'est pas à dédaigner ; c'est une solution infiniment préférable à celle qui consiste à maintenir le *statu quo* et à laisser ainsi l'ouvrier tout à fait exposé. Quant à la production, si elle doit être légèrement diminuée par le réglage plus ou moins fréquent de quelques dispositifs de prévention, et elle ne saurait l'être en pratique dans des proportions telles que les salaires auraient réellement à en souffrir, cette diminution ne nous semble pas un argument suffisant pour permettre d'exposer plus longtemps à la mutilation et parfois à la mort des existences humaines que l'expérience acquise nous met à même de protéger.

La mission de veiller à l'observation des prescriptions de prévention contre les accidents est confiée, en Allemagne, aux inspecteurs des fabriques et aux agents spéciaux des corporations d'assurance.

Nous avons intentionnellement négligé dans la présente étude, le nombre de victimes imputables aux fautes commises par les ouvriers contre les prescriptions des ordonnances de prévention. Nous avons uniquement envisagé les fautes qui auraient pu être aisément évitées, au grand profit des chefs d'industrie, des ouvriers et des corporations d'assurance, par l'emploi d'appareils protecteurs contre les accidents.

---

LA COMMISSION PRUSSIENNE  
DES  
Éboulements dans les Mines de Houille

---

COMPTE-RENDU DES PREMIERS TRAVAUX

PAR  
LUCIEN DENOËL  
Ingénieur au corps des Mines.  
[62283(061)(43)]

---

Il est notoire que parmi les nombreuses causes d'accidents inhérentes à l'exploitation des mines de houille, ce sont les éboulements, chutes de pierres ou de blocs de charbon, qui font le plus grand nombre de victimes. Environ 40 % des accidents mortels sont dus à cette cause. Les explosions de grisou ou le transport souterrain, qui se rangent immédiatement après dans l'ordre d'importance, n'interviennent que dans une proportion trois fois moindre. Mais les éboulements n'ayant que tout à fait exceptionnellement pour conséquence de graves catastrophes, l'opinion publique ne s'en émeut pas; il règne, en outre, une tendance générale à n'y voir que le résultat de circonstances fortuites ou du défaut de précaution des ouvriers. Aussi, tandis que depuis longtemps, on s'est préoccupé des explosions de grisou, des accidents survenant au cours de la translation du personnel et d'autres qui ont fait l'objet de nombreuses mesures préventives, rien de semblable n'a été fait en ce qui concerne les éboulements.

L'expérience enseigne que d'autres circonstances que la nature et la solidité des roches peuvent avoir une influence

appréciable sur la fréquence des éboulements, notamment la méthode d'exploitation, les moyens d'abatage, l'éclairage, la surveillance.

Dans son rapport de 1886, la Commission anglaise des accidents de mines s'est occupée de ces questions, et à défaut de règles précises, que la diversité des cas ne permettait pas d'établir, elle a formulé certaines conclusions générales. Ces principes ont trouvé leur application dans quelques districts, où ils ont inspiré les règlements d'ordre intérieur établis par les exploitants.

L'Angleterre est aussi le seul pays où l'on constate une diminution sensible du nombre des accidents par éboulements. La mortalité due à cette cause y est actuellement de 28 % moindre qu'en 1888 ; depuis quelques années, elle ne manifeste, il est vrai, aucune tendance à diminuer, mais c'est là un phénomène général dans tous les pays miniers.

En Prusse, le nombre des accidents survenant dans les houillères est en général relativement élevé. Les éboulements notamment y font deux fois plus de victimes qu'en France, une fois et demi autant qu'en Angleterre ou en Belgique. Le Ministre de l'Industrie et du Commerce s'est préoccupé de cette situation et des moyens d'y porter remède. En 1897, il a institué pour l'étude de ces accidents, une Commission spéciale analogue à la Commission prussienne du grisou, dont les importants travaux sont universellement connus et ont servi de base à la réglementation des mines grisouteuses.

La nouvelle Commission a pour mission de procéder à des recherches comparatives dans les divers bassins houillers en vue de mettre nettement en évidence toutes les circonstances particulières aux gisements et aux modes d'exploitation dans leurs rapports avec le danger des éboulements, de vulgariser la connaissance des causes de ces

accidents et de proposer des mesures de nature à en diminuer le nombre.

Cette Commission, qui se compose de 38 membres, comprend des fonctionnaires de l'Administration des mines, des directeurs de charbonnages, des surveillants et des ouvriers. Elle se divise en cinq comités locaux correspondant aux districts miniers de la Haute et de la Basse-Silésie, de Dortmund, d'Aix-la-Chapelle et de Saarbrück. Son premier président a été M. Freund, *Oberberghauptmann*, directeur au Ministère du Commerce; il a été remplacé, lors de sa mise à la retraite, par M. l'*Oberberghauptmann* von Velsen. M. l'*Oberbergrath* Meissner a été choisi comme secrétaire général.

La Commission s'est réunie une première fois, les 26 et 27 octobre 1897, en assemblée plénière, pour arrêter le programme de ses travaux. Chacun des comités locaux s'est chargé de procéder dans sa circonscription à des recherches statistiques et techniques. Un sous comité spécial a été formé pour les études scientifiques. De nombreux documents se rapportant à la question des éboulements tant dans les mines prussiennes que dans celles des autres pays ont été communiqués à tous les membres. En mars 1901, le travail accompli étant déjà considérable, la Commission se réunit une seconde fois en assemblée générale pour examiner les rapports des diverses sections, discuter les mesures proposées et la suite qu'il convient de donner à ses travaux. D'après les prévisions, ceux-ci dureront encore environ deux ans.

Sans attendre le dépôt d'un rapport général et les conclusions définitives, il a été décidé de livrer à la publicité les résultats essentiels acquis jusqu'à présent. Les procès-verbaux des réunions générales, accompagnés d'un grand nombre de documents statistiques et scientifiques, ainsi que les rapports détaillés sur les opérations de trois des comités

locaux, viennent de paraître dans deux éditions spéciales de la *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate*. L'abondance des matériaux accumulés permet de juger de la grandeur de l'œuvre, qui excitera le plus vif intérêt, indépendamment de son objet spécial, par la multiplicité des questions d'ordre technique qu'elle embrasse et auxquelles elle apporte un contingent précieux d'études et d'observations.

Nous nous proposons d'en donner ici un aperçu en entrant dans quelques détails sur les principales questions traitées.

---

### Programme des travaux de la Commission.

---

Dans sa session d'octobre 1897, la Commission a examiné un plan de travail qui lui était soumis par son Secrétaire général et qui, après quelques modifications suggérées par la discussion, a été adopté dans la forme suivante :

#### I. — *Recherches statistiques.*

1. Relevé des accidents survenus dans chaque mine, dans les cinq dernières années, par suite de chutes de pierre ou de houille ; nombre absolu et proportion par 1,000 hommes du fond ; accidents mortels ou ayant donné lieu pour une autre cause à enquête administrative.

On indiquera parmi les accidents qui n'ont pas causé mort d'homme, combien ont donné lieu à la mise à la pension du blessé. On comprendra aussi dans l'enquête les accidents causés indirectement par éboulement (chutes de bois, d'échelles, etc.)

Pour chaque mine, on indiquera en outre combien de postes de 1,000 hommes du fond sont occupés annuellement ainsi que la production annuelle par 1,000 hommes du fond. Le nombre de postes se calculera d'après les mêmes règles que la statistique officielle des salaires.

2. Répartition des accidents d'après les différentes couches et le

nombre de journées de travail dans celles-ci ; influence de la puissance, de la pente, de la qualité du charbon, des roches encaissantes.

3. Répartition des accidents entre les travaux à la pierre (enfouissement de puits, travers-bancs, etc.) et les travaux en couche (galeries, piliers, fronts de tailles, etc.)

4. Répartition d'après la cause immédiate (chute de cloches, affaissement du faux-toit ou de parois de roches ou de charbon, croquage subit d'une galerie, écrasement d'un pilier ou d'un front de taille).

5. Classement d'après la besogne effectuée par les victimes (havage, coupure, abatage, déblaiement des coups de mines, travail aux coins, chargement, roulage, boisage, déboisage, etc.)

6. Classement des accidents d'après les mois, les jours de la semaine, la durée du travail (commencement, milieu ou fin du poste, poste supplémentaire ou accessoire).

7. Temps pendant lequel les victimes ont été occupées au travail des mines et en particulier dans la mine où est survenu l'accident.

## II. — *Recherches scientifiques.*

1. Relevé, concernant les mines du pays et de l'étranger, des mesures de police et autres tendant à prévenir les éboulements.

2. Bibliographie des publications allemandes et étrangères sur les causes des éboulements et les moyens préventifs, avec indication sommaire du contenu.

## III. — *Recherches techniques.*

1. *Conditions du gisement.* Nombre, inclinaison, puissance et nature des couches exploitées, épaisseur des stamper, nature du toit et du mur, présence de clivages, joints ou limés, cloches, fentes et failles, venue d'eau par les fissures, pression du terrain, profondeur des travaux.

2. *Méthode d'exploitation.* Exploitation sans remblai, avec remblai partiel ou complet ; abatage de toute la puissance de la couche en une fois, ou en tranches séparées, ou en en laissant subsister une partie ; exploitation simultanée de plusieurs veines voisines ; largeur et longueur des voies d'exploitation, nombre et épaisseur des piliers, abandon de planches de charbon, etc.

3. *Abatage :* à l'explosif, sans explosif ; par havage à la main ou à la machine, par havage et coupures ; aux coins, au pic, au levier.

4. *Revêtement.* Nature du revêtement des galeries, tailles et piliers, soutènement du toit, du mur et des parois, des tranches abandonnées ; exécution du revêtement par des ouvriers spéciaux, à la tâche ou à la journée, ou par les ouvriers du chantier avec ou sans salaire spécial ; déboisage des piliers et des galeries ; organisation du service des bois, dépôts souterrains, etc.

5. *Arrosage des travaux,* son influence sur la pression du terrain.

6. *Eclairage.* Lampes à feu nu, lampes de sûreté, lampes électriques ; pouvoir éclairant, sa diminution pendant la durée du poste.

7. *Organisation du travail au chantier,* en un ou en deux postes, par rapport à la largeur des fronts de taille.

8. *Surveillance.* Nombre des surveillants par poste de jour et de nuit et par rapport au nombre d'ouvriers ; leurs attributions ; longueur des trajets qu'ils ont à parcourir, de niveau, en montant, en descendant, pour surveiller leur division ; autres circonstances rendant la surveillance difficile. — Formation des employés techniques ; division de la surveillance ; recrutement, instruction et formation professionnelle des ouvriers.

#### IV. — *Conclusions et mesures pratiques proposées.*

1. Au point de vue technique : système d'exploitation, abatage, revêtement, arrosage, éclairage, organisation du travail, surveillance.

2. Au point de vue administratif : modifications à apporter aux lois et règlements de police.

3. Instruction des surveillants et des ouvriers : rédaction d'un opuscule, en langage clair et à la portée de tous, sur les causes des accidents par chute de pierre et de charbon, et sur les moyens de les prévenir.

Dans la discussion de ce programme, on s'est préoccupé en premier lieu de la méthode à adopter pour obtenir des chiffres statistiques comparables. Dans ce but, on s'est limité aux accidents survenus pendant les dernières années, afin de ne pas s'écarter des conditions actuelles d'exploitation.

Pour donner la mesure exacte du risque d'une catégorie d'accidents, la statistique devrait embrasser tous les cas,

qu'ils aient occasionné mort d'hommes ou des blessures plus ou moins graves. En matière d'éboulements surtout, la gravité des conséquences que l'accident entraîne pour la victime dépend souvent de circonstances fortuites sans rapport avec les causes déterminantes. Malheureusement, les mêmes règles ne sont pas suivies partout en ce qui concerne la constatation des accidents non mortels. Des divergences profondes se manifestent dans la notion de blessures graves ou d'incapacité de travail, non seulement d'un pays à l'autre, mais quelquefois dans diverses circonscriptions d'un même pays. Ainsi, en Westphalie on constate tous les accidents qui donnent lieu à l'application de la loi sur l'assurance ouvrière ; dans les autres districts miniers, quelques uns de ces accidents échappent à l'enquête administrative parce qu'on n'a pas prévu dès le début qu'ils entraîneraient une incapacité de travail de plus de 13 semaines. Cependant, comme ces exceptions sont en très petit nombre et qu'il est essentiel, au point de vue du but à atteindre, de recueillir des renseignements aussi détaillés que possible, la Commission a décidé de prendre en considération tous les accidents ayant fait l'objet d'une enquête administrative.

La comparaison entre les différents pays ne pourra évidemment se faire que sur la base des accidents mortels. Mais, avant d'en tirer des conclusions quant au degré de la sécurité des mines, il importe, ainsi que l'a fait remarquer M. le Bergrath Behrens, de tenir compte des conditions locales. Pour l'ensemble des mines de la Grande-Bretagne, par exemple, la proportion des accidents par éboulements est relativement faible, mais on constate de grandes variations dans les chiffres donnés pour chacun des bassins houillers séparément. Ainsi, le Sud du pays de Galles, où les conditions du gisement sont le moins favorables, accuse une mortalité de 1.02 par millier d'ouvriers, qui se

rapproche beaucoup de celle de la Prusse en général (1.17), et qui dépasse celle de la Basse-Silésie (0.85).

L'orateur en conclut que la question des éboulements doit être examinée sous toutes ses faces. Dans cet ordre d'idée, il attache la plus grande importance à l'envoi, prévu dans l'organisation de la Commission, d'une délégation chargée d'étudier sur place toutes les conditions d'exploitation et les règles suivies dans les autres pays houillers, notamment dans les divers districts anglais.

Les délégués de la Westphalie ont insisté d'une façon toute spéciale sur l'article 7 des recherches statistiques, à raison du caractère nomade de la population ouvrière dans ce bassin. (80 % environ des ouvriers ont changé de charbonnage dans le courant de l'année 1896.) Par suite, de ces changements continuels, les mineurs ne sont pas assez familiarisés avec toutes les circonstances qui rendent leur travail plus ou moins dangereux; en outre, la bonne entente fait défaut entre les hommes d'une même équipe qui n'ont pas appris à se connaître suffisamment, situation qui a certainement pour conséquence une augmentation du nombre des accidents.

Passons à la partie technique du programme.

ART. 2. — La *méthode d'exploitation* a une importance capitale, car c'est d'elle que dépendra souvent l'intensité des poussées.

La question de savoir si l'exploitation avec remblais présente plus de sûreté, au point de vue des éboulements, que l'exploitation sans remblai n'est pas encore tranchée définitivement. A la Commission anglaise pour l'étude des accidents miniers, des opinions contradictoires ont été émises à ce sujet.

Comme il n'est pas toujours possible d'amener du remblai dans les couches de faible inclinaison qui ne fournissent

pas elles-mêmes assez de stérile, il est intéressant d'examiner séparément les exploitations avec remblais partiels et celles avec remblais complets.

Dans les couches puissantes, comme celles de la Haute-Silésie, il n'est pas sans danger d'enlever en une fois toute l'épaisseur. L'examen du toit est difficile par suite de l'insuffisance de l'éclairage; des pierres ou des morceaux de houille, même de petite dimension, tombant d'une grande hauteur, occasionnent des accidents graves; le foudroyage du toit provoque un ébranlement considérable et des dislocations dans les roches restées en place. Il y a donc lieu de rechercher si l'exploitation par tranches remblayées qui a été introduite à titre d'essai ne présente pas plus de sécurité.

Lorsqu'on a affaire à des faux-toits sans consistance, on laisse souvent subsister une laie de charbon pour en prévenir la chute. On peut se demander s'il ne serait pas plus avantageux d'abattre à la fois le charbon et le faux-toit qui exercent des pressions très intenses sur les voies et les piliers, et qui à la longue amènent des éboulements.

Dans le défilage, quand on approche des parties éboulées, notamment dans les pendages raides, on abandonne une *planche* de charbon pour se protéger. Peut-être serait-il préférable, quand le terrain n'est pas très bon, d'employer des piliers de bois ou un autre soutènement approprié.

Les méthodes les plus diverses sont suivies en ce qui concerne l'exploitation d'une série de couches très voisines l'une de l'autre. On les déhouille simultanément, ou l'une après l'autre, soit dans l'ordre montant, soit dans l'ordre descendant. D'un côté, on les prend toutes par grandes tailles continues; ailleurs on n'emploie cette méthode que pour la couche inférieure et on exploite les autres par traçage et défilage.

Autant de variantes dont on doit rechercher l'influence

sur la fréquence des éboulements. Il en est de même de la rapidité du déhouillement. Suivant l'intervalle de temps qu'on laisse s'écouler entre l'exploitation de deux couches séparées par une faible stampe, les tassements seront plus ou moins complètement effectués avant qu'on ne remette les terrains en mouvement.

Quant aux dimensions données aux voies, tailles et piliers, surtout avec des toits de schiste, leur influence est évidente. Avec des piliers trop faibles, la pression est parfois tellement forte que les voies de traçage s'affaissent même avant qu'on ait entrepris le dépilage. Aussi importe-t-il de déterminer judicieusement les dimensions des divers ouvrages d'après la nature du gisement. Or, les conditions peuvent varier considérablement dans l'étendue d'une même mine, d'une couche à l'autre, au point que les galeries pourront être poussées, dans l'une, sur des centaines de mètres de longueur, tandis que dans une autre, on ne pourrait avancer de 100 mètres des voies de pareilles dimensions sans qu'elles ne s'affaissent.

ART. 6. — *L'éclairage* joue aussi un rôle important au point de vue de la prévention des éboulements. Il doit être suffisamment intense pour permettre de découvrir les indices de la chute des pierres ou des blocs de houille, les cloches, joints, linés, fissures, etc. Les lampes de sûreté pour mines grisouteuses sont encore susceptibles de perfectionnements à cet égard. L'éclairage électrique a été essayé avec succès dans certains cas et doit faire l'objet de plus amples expériences.

M. le Bergrath Remy a fait connaître les résultats d'une série d'essais effectués à la mine Königin-Luise, dans la Haute-Silésie, où l'on exploite en une fois une couche très puissante de 45° d'inclinaison.

Le premier mode d'éclairage intensif qui ait été expérimenté consistait à placer au centre d'un pilier de 5 mètres sur 12, une étoile

de trois lampes à incandescence de 50 bougies chacune, rayonnant la lumière dans toutes les directions. Ensuite, on a essayé des lampes amovibles de 32 bougies, alimentées en dérivation; chacun des ouvriers avait une de ces lampes à sa disposition et pouvait aisément la pendre aux vêtements de façon à bien éclairer l'endroit de travail. Mais la multiplicité des conducteurs entraînait des inconvénients qui ont fait renoncer à ce système.

Pour l'éclairage fixe, les lampes à incandescence ne conviennent pas, parce que les ampoules se recouvrent de poussières et que l'intensité lumineuse diminue. C'est pourquoi on a adopté les lampes à arc qui donnent jusqu'ici de bons résultats. Les ouvriers ont en outre à leur disposition des lampes de mine ordinaires; le plus souvent ils les laissent allumées continuellement, bien que ce ne soit pas nécessaire.

La grande question dans l'éclairage électrique c'est qu'il ne vienne jamais à faire défaut; il exige des installations parfaitement établies, un personnel nombreux et un contrôle incessant.

Un éclairage intensif est nécessaire dans la Haute-Silésie où l'abatage des piliers requiert un art particulier; il permet de passer rapidement à l'inspection de tout le front de taille après un coup de mine, ce qui est très important; il facilite considérablement la besogne des surveillants, qui se rendent compte au premier coup d'œil de l'état d'un pilier. La difficulté consiste à trouver un point de suspension convenable pour les lampes lorsqu'on abat les parties supérieures de la veine; on risque, en effet, de détériorer les lampes lors de la chute du charbon. Quand on est parvenu cependant à acquérir une certaine expérience, on trouve que les avantages surpassent de beaucoup les inconvénients et l'on peut conclure que l'éclairage par l'arc électrique augmente notablement la sécurité et est à recommander partout où il est pratiquement réalisable.

ART. 7. — La question de l'*organisation du travail* en un ou en deux postes se rattache à celle de la rapidité du déhouillement. Elle est peu importante dans le cas de charbon dur et de terrains solides, comme on en rencontre dans la Haute-Silésie. Au contraire, dans les conditions des gisements houillers de la Westphalie et de Saarbrück, il est évident que les poussées de terrains se feront sentir avec

une intensité très différente suivant que l'exploitation d'un quartier de la mine durera un an ou deux ans, suivant aussi que dans une même couche on dépilera en plusieurs panneaux simultanément.

La largeur des fronts de taille ne doit pas être trop faible, sans cela les ouvriers se gênent mutuellement; surtout pendant le havage, le manque de place les porte à omettre de placer des étaçons en aussi grand nombre qu'il le faudrait.

ART. 8. — D'une façon générale, on constate que les ouvriers ont une tendance à commettre de ces imprudences, la confection du soutènement exigeant un temps qu'ils préfèrent consacrer à des travaux directement rémunérés. Une *surveillance* active est donc indispensable. L'organisation de cette surveillance, le degré d'instruction et d'expérience de ceux qui en sont chargés, l'apprentissage des ouvriers mineurs ont été débattus dès la première session de la Commission.

Vu l'intérêt général qui s'attache à ces questions, nous croyons utile de rapporter ici, à grands traits, l'échange de vue qui a abouti à l'adoption des articles 7 et 8 du programme.

On a préconisé entr'autres l'inspection des tailles par des ouvriers boiseurs expérimentés, système qui a été introduit, par M. Leybold, à la mine de Kreuzgraben et qui a été adopté ensuite dans plusieurs autres mines de Saarbrück. Ces surveillants visitent tous les points où l'on travaille et donnent leur avis sur le soutènement. Ils reçoivent un salaire de 4 marks par jour, qui est réduit à 3<sup>mk</sup>80, lorsqu'il survient un éboulement. Il ne faut pas exagérer la différence, de crainte qu'on ne dissimule des accidents. Cette institution paraît avoir donné de bons résultats car le nombre des accidents a diminué. L'expérience n'est toute-

fois pas absolument concluante, n'ayant pas été assez étendue ni prolongée assez longtemps.

Il est incontestable que les gens peu familiarisés avec les travaux des mines, ceux qui n'y sont pas occupés d'une manière continue, occasionnent beaucoup d'accidents et fournissent la plus forte proportion de victimes. C'est pourquoi les règlements de police allemands prescrivent de n'employer au travail à la veine que des gens ayant fait un apprentissage, dont la durée est en général de trois ans. En Silésie, on va jusqu'à imposer aux ouvriers à veine un examen de capacité, devant une Commission composée de l'inspecteur des mines, du chef porion et d'un porion du charbonnage, qui connaissent le passé des candidats et écartent ceux dont la conduite ne donne pas toute satisfaction. Ce système a cet excellent résultat de relever le niveau de cette classe d'ouvriers et de constituer, pour les jeunes gens, un stimulant sous le rapport général de l'éducation. Il serait cependant inapplicable dans les régions comme la Westphalie encore en voie de développement et où la pénurie de main-d'œuvre oblige à embaucher toutes sortes d'ouvriers, dont beaucoup viennent de provinces éloignées et connaissent à peine de nom le travail des mines. Celui-ci n'exige pas que la force physique, mais aussi une certaine adresse qu'on devrait s'efforcer de développer systématiquement. Le recrutement de bons ouvriers mineurs était plus facile autrefois qu'aujourd'hui, parce que les fils embrassaient plus généralement le métier de leur père, y apportaient, avec une propension naturelle, des dispositions héréditaires et certaines connaissances acquises qui facilitaient beaucoup leur apprentissage. Il serait désirable qu'on revienne à ces anciennes traditions. Dans l'opinion de plusieurs, les dispositions législatives sur la durée du travail des enfants ne sont pas étrangères à la situation actuelle. Il est vrai que dans les mines fiscales de Saar-

brück on emploie un grand nombre de jeunes ouvriers qui ne travaillent que six heures par jour, mais les conditions économiques et la concurrence ne permettent pas de suivre cet exemple partout. Aussi, comme on ne peut éviter d'embaucher un certain nombre d'ouvriers inexpérimentés, la question se ramène à celle de la surveillance qui doit être particulièrement active et intelligente à l'égard des apprentis.

Pour exercer efficacement leur mission, les surveillants doivent posséder des connaissances théoriques et pratiques. De l'avis de plusieurs membres de la Commission, c'est un tort de les choisir parmi les jeunes gens fraîchement débarqués des écoles de mineurs, de leur confier des attributions multiples, notamment de les charger d'une besogne de bureau, telle que la confection des listes de salaires, etc.

Au cours de la controverse, M. Meissner a émis l'avis que la prévention des accidents pourrait faire l'objet d'un cours spécial dans les écoles des mineurs.

Un dernier point a été soulevé dans la première réunion de la Commission, c'est la surveillance des mines par des délégués des ouvriers. On sait qu'il a été tranché par une Commission spéciale qui a visité l'Angleterre, la France et la Belgique, et dont le rapport a été publié dans le tome XLVII de la *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen*.

---

**Documents statistiques.****A. — ACCIDENTS MORTELS.**

Nous trouvons dans une première série de tableaux le nombre des ouvriers tués par éboulement dans les houillères des différents pays, pendant les années 1892 à 1899. Le tableau I reproduit les moyennes de cette période. En vue de permettre d'apprécier dans une certaine mesure l'influence des conditions locales des gisements et de leur mode d'exploitation, ces renseignements sont détaillés par bassins houillers, non seulement pour la Prusse mais aussi pour la Grande-Bretagne.

On se rappellera, si l'on veut établir des comparaisons, qu'il ne faut voir, dans ces chiffres, que la résultante finale de plusieurs facteurs. Qu'on nous permette, cependant, une simple remarque.

Les districts du Nord de l'Angleterre (Newcastle, Durham, Yorkshire) contribuent beaucoup, par leur importance et le petit nombre d'accidents mortels qu'on y constate, à abaisser la moyenne de l'ensemble du royaume. Ce sont aussi les plus privilégiés par la nature. On y trouve réunies toutes les conditions classiques propices à l'exploitation par foudroyage : couches bien régulières, de moyenne puissance et de très faible inclinaison, surmontées d'un bon toit, non grisouteuses. Néanmoins le risque d'éboulement y est aussi grand que dans les veines minces, plissées et tourmentées des houillères belges. Les conditions de sécurité sont encore meilleures en France, où dominent aussi les exploitations avec remblais.

**TABLEAU I**  
**Accidents mortels pendant la période 1892-1899**  
*dans les mines de houille de divers pays*

	Nombre d'ouvriers du fond	Nombre moyen d'accidents mortels	
		par an	par 1000 ouvriers du fond
Prusse . . . . .	222,058	260.9	1.17
Grande-Bretagne . . . . .	562,354	436	0.78
Belgique . . . . .	88,471	63	0.71
Royaume de Saxe . . . . .	16,206	9.9	0.61
France . . . . .	99,893	—	0.58
Haute-Silésie . . . . .	44,449	65	1.57
Saarbrück . . . . .	26,067	38.2	1.47
Aix-la-Chapelle et Düren . . . . .	6,842	8.5	1.24
Dortmund . . . . .	130,415	135	1.04
Basse-Silésie . . . . .	13,130	11.2	0.85
Ecosse } Est . . . . .	43,383	35	0.81
} Ouest . . . . .	32,297	26	0.81
Newcastle . . . . .	56,931	37	0.65
Durham . . . . .	60,458	43	0.71
Yorkshire et Lincolnshire . . . . .	72,433	44	0.61
Manchester . . . . .	31,939	30	0.94
Liverpool . . . . .	45,164	44	0.97
Middland . . . . .	63,104	34	0.54
North Staffordshire . . . . .	19,362	17	0.88
South Staffordshire . . . . .	19,981	18	0.90
South Western . . . . .	38,279	29	0.76
South Wales . . . . .	78,314	80	1.02

## B. — ACCIDENTS DE TOUTES CATÉGORIES.

Le nombre des cas mortels, on l'a déjà fait remarquer, ne donne qu'une idée très inexacte, de la fréquence des chutes de pierres et de charbon et du danger qu'elles font courir. Les tableaux de détails, dressés conformément à l'article 1<sup>er</sup> du programme de la Commission prussienne, donnent, sur le nombre total des accidents constatés par l'Administration des mines, des indications précieuses que nous résumons dans le tableau II.

TABLEAU II

Accidents, mortels ou non, constatés dans la période  
1892 à 1896.

	PROPORTIONS PAR 1000 OUVRIERS DU FOND				Proportion du nombre total des accidents causés indirectement par éboulement
	Accidents	Tués	Blessés	Blessés mis à la pension	
Haute-Silésie	6.32	1.48	4.84	3.38	15.2 %
Basse-Silésie	2.85	0.84	2.01	1.43	2.8 »
Westphalie	7.10	1.01	6.09	5.12	3.0 »
Aix-la-Chapelle et Düren	3.50	1.30	2.20	1.80	—
Saarbrück	4.04	1.54	2.50	2.15	2 »

Les blessures graves, ayant donné lieu à la mise à la pension de la victime, par application de la loi de 1884, sur l'assurance ouvrière, ont été indiquées dans une colonne spéciale parce qu'elles fournissent des chiffres comparables pour les divers bassins. Leur nombre s'élève en moyenne au triple de celui des accidents mortels; il atteint le quintuple en Westphalie. Dans cette dernière région, on compte pour un ouvrier tué, 12.6 blessés ayant subi une incapacité de travail d'au moins quatre semaines.

On jugera, par ces chiffres éloquents, de l'importance

de la lutte contre cet ennemi qui harcèle sans relâche l'ouvrier houilleur.

Le classement des divers bassins s'établirait autrement d'après la base du nombre total des accidents que d'après la proportion d'ouvriers tués; la Westphalie viendrait en tête dépassant notablement la Haute-Silésie et le bassin de Saarbrück où la mortalité est la plus forte proportionnellement. On remarque d'ailleurs des différences allant du simple au double dans les diverses circonscriptions du service des mines de Dortmund; les plus favorisées sont en général celles où se rencontrent à la fois les meilleurs terrains et une population ouvrière fixée depuis longtemps.

Un fait général dans tous les bassins houillers de la Prusse, c'est que le nombre total des accidents par éboulements augmente d'année en année. Dans la Haute-Silésie, la raison de cet accroissement est en moyenne de 17.7 %, bien que la production et le nombre d'ouvriers restent sensiblement constants. En Westphalie, l'augmentation de 1892 à 1896 a été de 19 % pour les accidents mortels, de 21 % pour les autres, tandis qu'elle n'est, pour la production, que de 8 %, pour le nombre de journées de travail, de 6 %, pour la population ouvrière, de 12 %. Le nombre total des pensions accordées à la suite de blessures par chutes de pierres ou de charbon s'est accru de 505 à 707, soit de 40 %.

#### C. — NATURE DES ACCIDENTS ET LEURS CAUSES.

Le tableau III donne la répartition des accidents d'après les endroits de la mine qui en ont été le théâtre (1).

(1) Pour le bassin d'Aix-la-Chapelle, les renseignements ont été donnés sous une forme un peu différente. Les 53 accidents étudiés par la Commission locale se répartissent comme suit :

- 2 dans des travers-bancs en creusement ;
- 17 dans des galeries en veine, en creusement ;
- 12 dans les voies d'exploitation ;
- 1 dans les vieux travaux ;
- 21 dans les tailles et les piliers.

TABLEAU III

Proportion % du nombre total d'accidents par chute de pierres et de houille pendant les années 1892 à 1896.

	TRAVAUX A LA PIERRE			TRAVAUX EN VEINE							
	Puits	Travers-bancs et divers	TOTAL.	TRAVAUX PRÉPARATOIRES ET DE TRAÇAGE			TRAVAUX D'EXPLOITATION				TOTAL POUR LES TRAVAUX EN VEINE
				Fronts de taille	Galeries	TOTAL	Fronts de taille	Galeries	Vieux travaux, remblais	TOTAL	
Haute-Silésie . . .	0.64	1.99	2.63	7.56	7.57	15.13	75.32	8.73	1.19	82.24	97.37
Basse-Silésie . . .	0.56	5.59	6.15	13.96	8.94	22.90	65.92	3.91	1.12	70.95	93.85
Westphalie . . .	2.10	4.30	6.40	16.50	8.80	25.30	60.0	8.30	—	68.3	93.60
Saarbrück . . .	0.20	4.30	4.50	8.50	5.30	13.80	76.8	3.90	0.8	81.7	95.50
Aix-la-Chapelle . . .	»	3.77	3.77	»	»	»	»	»	1.89	»	96.23

Il résulte de là que, dans les couches de houille, les accidents sont incomparablement plus nombreux que dans les travaux à la pierre, surtout pendant la période d'exploitation proprement dite. C'est aussi là que se concentre la majeure partie du personnel, et il faudrait connaître, pour comparer les conditions de sécurité des chantiers en veine et des percements au rocher, le nombre des ouvriers de chaque catégorie.

Ainsi, la situation particulière de la Haute-Silésie s'expliquerait par cette circonstance que dans ce bassin on ne fait guère de travers-bancs.

A Saarbrück, on peut conclure avec certitude que les travaux à la pierre sont moins dangereux que les travaux en couche, car ils occupent 7.1 % des ouvriers du fond et n'interviennent que pour 4.5 % dans le nombre des accidents.

Dans tous les travaux en veine ou en roche, galeries, tailles, piliers, le front d'attaque du massif est l'endroit le plus critique. C'est là que surviennent 80 % des éboulements.

La même conclusion ressort de l'examen du tableau IV, qui renseigne la répartition du nombre des accidents d'après le travail qu'accomplissaient les victimes. D'après leur degré de danger, les opérations se classent dans l'ordre suivant : abatage, boisage, havage ou forage des trous de mine, boutage, chargement des produits, transports en galeries, etc.

TABLEAU IV

Classement des accidents d'après la nature de l'occupation  
des victimes.

	Haute-Silésie	Basse-Silésie	Westphalie	Saarbrück
Havage . . . . .	2.71	15.08	12.52	9.6
Coupures . . . . .	0.24	0.56	3.71	0.2
Forages . . . . .	7.24	1.12	2.35	2.4
<i>Travail de préparation</i>	<b>10.19</b>	<b>16.76</b>	<b>18.58</b>	<b>12.2</b>
Abatage de houille.	32.72	31.28	19.10	24.2
Coupage du toit . . . . .	»	»	2.69	5.9
Id. du mur . . . . .	»	»	0.83	0.4
Id. d'une inter- calation . . . . .	»	»	0.69	3.2
Autres travaux au pic ou aux coins.	3.42	»	1.33	1.0
Minage et déblayage des fronts après un coup de mine.	1.59	0.56	2.12	1.6
<i>Travail d'abatage</i>	<b>37.73</b>	<b>31.84</b>	<b>26.76</b>	<b>36.2</b>
Boutage à la pelle . . . . .	2.87	12.85	4.97	12.0
Chargement . . . . .	19.03	0.56	10.81	8.1
Roulage . . . . .	3.03	1.67	4.70	2.6
<i>Enlèvement des produits</i>	<b>24.93</b>	<b>15.08</b>	<b>20.48</b>	<b>22.7</b>
Boisage . . . . .	11.46	29.05	18.45	13.8
Déboisage . . . . .	2.79	2.23	0.71	1.8
Remblayage . . . . .	0.16	»	2.61	2.5
	<b>14.41</b>	<b>31.28</b>	<b>21.77</b>	<b>18.1</b>
Circulation, etc. . . . .	<b>12.74</b>	<b>5.04</b>	12.41 <b>12.41</b>	<b>10.8</b>
	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>

## TABLEAU V

Répartition des accidents de 1892 à 1896  
d'après les catégories d'ouvriers auxquelles appartiennent  
les victimes.

	Haute-Silésie	Basse-Silésie	Westphalie	
			Nombre de victimes	Rapport du nombre d'ouvriers à la population totale du fond
Ouvriers à veine . . . . .	68.95	67.60	67.35	42.64
Id. à la pierre . . . . .	1.75	5.59	3.28	5.27
Apprentis abateurs . . . . .	0.95	10.61	14.40	14.82
Boiseurs et raccommodeurs . . . . .	1.51	2.79	6.94	11.41
Maçons et manœuvres . . . . .	0.72	0.55	0.26	0.47
Chargeurs . . . . .	23.01	5.59	3.94	15.13
Rouleurs . . . . .	2.13	5.03		
Remblayeurs . . . . .	0.08	1.12	0.31	0.89
Surveillants et employés . . . . .	0.40	1.12	0.71	3.03
Autres personnes . . . . .			2.81	6.34
	100.00	100.00	100.00	100.00

Le tableau V classe les victimes, non d'après leur occupation au moment de l'accident, mais d'après leur profession habituelle.

Il montre que les ouvriers à veine sont plus exposés que n'importe quelle autre catégorie de mineurs, à périr ou à être blessés par les chutes de pierres ou de houille. Dans la Haute-Silésie, les chargeurs à la taille, fournissent aussi un très fort contingent d'accidents.

La Sous-Commission de Dortmund a établi le risque professionnel des diverses catégories de travailleurs en rapprochant les résultats de ses recherches statistiques de ceux du recensement de la population ouvrière en décembre 1893 (1).

La dernière colonne du tableau V, indique la répartition, à cette date, du personnel occupé à l'intérieur des mines. Les freineurs et ouvriers des recettes des plans inclinés sont compris dans les rouleurs; la dernière catégorie comprend les conducteurs de chevaux, palefreniers, poseurs de rails, manœuvres de ventilateurs à bras, etc.

Le recensement correspondant à la période de plus grande activité de l'année, les chiffres accusés pour la production et le personnel ouvrier diffèrent peu, malgré le développement croissant de l'industrie houillère, de la moyenne de la période 1892 à 1896.

On a relevé pendant ces cinq années, un total de 4,209 tués et blessés pour un personnel de 118,717 hommes, soit par an 7.09 accidents pour 1,000 ouvriers. Un calcul analogue donne pour les diverses catégories de travailleurs les résultats suivants :

Pour 1,000 ouvriers à veine . . .	11.20 accidents.
Id. apprentis abatteurs . . .	6.88 id.
Id. ouvriers à la pierre . . .	4.48 id.
Id. boiseurs et raccommodeurs . . . . .	4.28 id.
Id. maçons . . . . .	3.59 id.
Id. divers . . . . .	3.19 id.
Id. remblayeurs . . . . .	2.82 id.
Id. rouleurs. . . . .	1.84 id.
Id. surveillants. . . . .	1.67 id.

(1) TAEGELICHBECK, *Die Belegschaft der Bergwerke und Salinen im O. B. A. Dortmund.*

Ainsi, le métier d'ouvrier à veine est de beaucoup le plus dangereux; le risque d'être atteint par un éboulement est de 2.5 fois moindre pour les ouvriers à la pierre ou les boiseurs, 6 fois moindre pour les rouleurs et 7 fois pour les surveillants.

La connaissance des *causes*, directes ou indirectes, des accidents résultant des éboulements est incontestablement le point qui mérite le plus d'attirer l'attention; elle ne peut s'acquérir que d'une façon très imparfaite par des relevés numériques, car, les causes étant d'ordres divers et extrêmement variables, il est difficile de les détailler toutes dans des tableaux statistiques.

Autrement instructives sont les monographies consacrées à l'étude détaillée des circonstances du gisement et du mode de travail, telles que celles de M. Cambessédès pour le Nord de la France; celle de Sawyer pour le North-Staffordshire, dont une version allemande, spécialement adaptée en vue de la comparaison avec le bassin Westphalien, a été publiée par l'*Oberberggrath* Leybold, à qui l'on doit aussi une remarquable étude sur 100 cas d'accidents mortels survenus en 1900 dans le district de Dortmund (1).

Nous devons nous borner ici à signaler ces ouvrages extrêmement intéressants qui rentrent dans le cadre des études techniques de la Commission.

Les recherches statistiques donnent cependant des indications générales sur la fréquence des principales causes des accidents. On trouvera condensés dans le tableau VI, extraits des rapports des diverses sections, les renseignements qui peuvent se grouper sous une même rubrique. La dernière colonne comprend principalement les accidents

---

(1) LEYBOLD, Stein- und Kohlenfall Verunglückungen in North-Staffordshire und die Mittel zu ihrer Verminderung, *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, t. 48, p. 207. — Stein- und Kohlenfall Verunglückungen im Oberbergamtsbezirk, Dortmund, *ibid.*, p. 563.

amenés indirectement par suite d'éboulements, chutes de pièces de bois, de pâliers de travail, d'échelles. Nous reproduisons aussi la répartition des accidents telle qu'elle a été indiquée pour le bassin d'Aix-la-Chapelle dont les conditions présentent le plus d'analogie avec nos bassins houillers.

TABLEAU VI

	Proportion % du nombre d'accidents par suite de							
	CHUTES DE PIERRES				CHUTES DE HOUILLE		Ecrasement subit de pâliers ou de voies	Autres causes
	Cloches	Autres joints (limés, cassures etc.)	Faux-toits	Nombre total	Clivages et fissures, etc.	Nombre total		
Haute-Silésie . . . . .	1.0		11.1	28.1		67.4	4.5	
Basse-Silésie . . . . .	6.7		19.0	59.8		34.6	5.6	
Westphalie . . . . .	8.7	9.3	14.9	66.8	5.5	28.2	1.9	3.1
Saarbrück . . . . .	7.7	22.4	»	70.4	8.7	26.4	0.4	2.1

### Districts d'Aix-la-Chapelle et Düren

*Répartition des accidents d'après leurs causes*

Éboulement de remblais . . . . .	2
Chute de houille du front de taille . . . . .	1
Glissement ou écrasement d'un petit pilier protecteur . . . . .	3
Croquage d'une taille . . . . .	1
Arrachement du toit . . . . .	18
Chutes de pierres détachées à des fissures . . . . .	14
Cloches . . . . .	14
Total . . . . .	53

6 de ces accidents ont fait 2 victimes chacun ; 5 ont été attribués à un défaut de précautions.

On voit par là que les diverses causes prennent une importance très variable suivant les conditions locales. Dans la Haute-Silésie, où les couches présentent une forte puissance, des clivages prononcés et d'autres joints nombreux, les accidents proviennent surtout de la chute de blocs de houille; ailleurs, des chutes de pierres.

D'une façon générale, ce sont les pierres tombant du toit des excavations qui font le plus de victimes (près des  $\frac{3}{4}$ ); quand il s'agit de charbon, la cause la plus meurtrière est au contraire la chute de blocs se détachant du front de taille.

Les faux-toits sont particulièrement dangereux en Westphalie, où ils présentent de grandes variations d'épaisseurs et de cohésion, et aussi en Silésie, où ils se séparent nettement d'un banc de grès, exercent une pression considérable sur les boisages, parfois tombent en grande masse, à l'improviste. Dans ces derniers cas, les accidents ont souvent des conséquences très graves parce qu'ils font plusieurs victimes. Il en est de même des écrasements subits des piliers.

Les recherches statistiques n'ont abouti à aucun résultat probant quant à la comparaison des méthodes d'exploitation, les dangers d'éboulements que font craindre les circonstances locales étant précisément une des causes déterminantes dans le choix de la méthode.

Nous en citerons un exemple emprunté à un rapport spécial de M. le Bergassessor von Velsen. La couche *Dicke Bank* a fait l'objet d'investigations dans 15 charbonnages du district de Dortmund, où elle est exploitée principalement par piliers repris sans remblai, et par la méthode désignée sous le nom de *Stossbau* consistant en un traçage de longs massifs repris par tailles remblayées. La couche a une puissance assez régulière, 2 à 3 mètres,

et le toit est partout très bon ; le mur présente une tendance au glissement sur les fortes pentes, le charbon se brise facilement. Ces deux dernières circonstances sont donc prépondérantes au point de vue du danger de chutes de pierres et de charbon. Or on emploie la méthode des dépilages pour ainsi dire exclusivement dans les plateaux inclinés de 0 à 20°, le *stossbau* principalement dans les dressants. La raison en est que, d'une part, le transport des matériaux destinés au remblayage présenterait de grandes difficultés sur des inclinaisons trop faibles, et que d'autre part, sur des pentes un peu fortes, le foudroyage du toit entraîne de grands dangers pour les ouvriers occupés au dépilage et l'abandon de massifs de protection. Rien d'étonnant donc à ce que l'on constate plus d'accidents par éboulements dans les exploitations avec remblai que dans les autres.

#### D. — *Influences diverses.*

On ne peut guère tirer de conclusions des tableaux montrant la répartition des accidents d'après les jours de la semaine et d'après les mois. A Saarbrück et dans la Basse-Silésie, on a constaté que le samedi est particulièrement néfaste et amène 20 % des accidents ; dans le district d'Aix-la-Chapelle, c'est le lundi qui vient en tête avec 24 % des accidents.

Les mois d'octobre et de novembre, pendant lesquels la production est le plus intense, se signalent aussi par une plus forte proportion d'accidents par éboulements ; le mois d'avril est par contre le plus favorisé sous ce rapport. L'écart entre le minimum et le maximum du nombre d'accidents est de 50 % dans la Basse-Silésie et le bassin de Saarbrück, de 44 % dans la Haute-Silésie et de 22 % en Westphalie. Dans ce dernier bassin, il y a augmentation

continue de novembre à avril et décroissance en sens contraire, ce qui concorde avec la marche ascendante ou descendante de la production. Rien de semblable ne s'observe dans les autres districts.

Les chiffres relatifs aux divers postes, du matin, d'après-midi, de nuit, n'apportent, en l'absence du nombre de travailleurs correspondant à chacun d'eux, aucun enseignement.

En Silésie, on n'a pas trouvé de différence entre le milieu du poste et le commencement ou la fin.

En Westphalie, les deux dernières heures de la journée donnent lieu à plus d'accidents que les deux premières. Dans les districts d'Aix-la-Chapelle et de Saarbrück, la fin du poste se montre en outre plus dangereuse que le milieu. En tenant compte de la durée proportionnelle, les trois périodes de la journée se classent comme suit quant à la fréquence des accidents :

	Commencement.	Milieu.	Fin.
Westphalie	1	2.5	1.8
Saarbrück	1	1.2	1.3
Aix-la-Chapelle	1	0.6	1.4

Dans ce dernier bassin, les accidents survenus à la fin du poste ont tous, sauf un seul, les fronts de taille pour théâtre, tandis que dans les voies de roulage, c'est au début de la journée que sont survenus la plupart des accidents.

L'influence des postes de redoublage ou des travaux supplémentaires n'a pu être déterminée nulle part, faute d'éléments suffisants.

Nous dirons enfin, pour terminer cette revue des travaux statistiques de la Commission, qu'aucun fait saillant ne ressort de la répartition des accidents d'après l'âge des victimes, le temps qu'elles ont été occupées au

travail des mines et spécialement dans la mine où elles ont été atteintes.

La plupart des mineurs débutent dans leur carrière entre la 16<sup>me</sup> et la 20<sup>me</sup> année, principalement en qualité de chercheurs ; leur besogne ne les appelle pas dans les tailles ; ils sont donc peu exposés aux chutes de pierre et de houille. Arrivés à l'âge de 50 ans, les ouvriers préfèrent au travail dangereux des tailles, en particulier des dépilages, ceux de boisage, d'entretien des galeries, etc. Ainsi s'explique cette constatation générale que les éboulements font surtout des victimes parmi les hommes dans la force de l'âge et parmi ceux occupés depuis plus de 5 ans au travail des mines.

En Westphalie, 23.38 % des accidents ont atteint des gens qui se trouvaient occupés depuis moins d'un an dans la même fosse ; de ce nombre 1.37 % se rapportent à des débutants dans le métier, le reste, ou 21 %, à des ouvriers nomades. D'après le recensement de 1893, 19.73 % des ouvriers du fond avaient changé de charbonnage en moins d'un an. La différence entre les deux rapports est donc peu sensible. Les autres groupes embrassés par cette statistique ne permettent pas davantage de conclure que le risque d'être victime d'un éboulement soit en relation avec le temps que l'ouvrier reste employé dans la même mine.

A Saarbrück, où la population ouvrière est très stable, 66 % des victimes n'avaient jamais travaillé qu'au même charbonnage, 19 % avaient passé la moitié de leur existence dans la mine où ils ont été atteints, 5 % seulement étaient occupés dans la même mine depuis moins d'un an.

### Travaux techniques.

La Commission d'Aix-la-Chapelle a pu visiter toutes les mines de sa circonscription, qui est peu étendue; les autres ont fait choix d'un certain nombre de charbonnages dont la visite paraissait devoir présenter le plus d'intérêt, soit à cause des particularités du gisement ou de la méthode d'exploitation, soit à cause de la fréquence plus grande des éboulements, révélée par l'enquête statistique. En Silésie, le quart environ des charbonnages ont été visités; à Saarbrück, la moitié; en Westphalie, environ 10 %. Quatre des sous-commissions ont déposé leurs rapports qui traitent des points suivants :

1° Méthode d'exploitation; 2° Abatage; 3° Soutènement; 4° Arrosage; 5° Eclairage; 6° Organisation du travail; 7° Surveillance.

Ces rapports ont été distribués, et la Commission s'est réunie en assemblée générale, le 28 et le 29 mars 1901, pour en discuter les conclusions. Les débats se sont terminés par l'adoption, à titre provisoire et sous réserve des amendements et des développements que pourraient suggérer les travaux ultérieurs de la Commission, d'un certain nombre de règles pratiques, propres à diminuer le danger résultant des chutes de pierres et de houille. Nous les reproduisons ci-après.

PRINCIPES PROVISOIREMENT ADMIS POUR LA PRÉVENTION  
DES ÉBOULEMENTS.

1. Le traçage d'une série de couches très rapprochées doit se faire autant que possible par des galeries communes. Il faut éviter de placer les voies de traçage dans un champ où des couches ont déjà été exploitées. Dans les terrains à forte poussée, l'étendue des champs d'exploitation doit être limitée. Il faut éviter de découper les couches par des galeries trop larges, surtout lorsqu'il se trouve au dessus des veines non déhouillées. Le dépilage doit suivre le traçage d'aussi près que possible.

2. L'emploi des explosifs doit être limité. Les mines ne doivent pas être surchargées.

3. L'emploi des haveuses mécaniques est recommandable dans les mines où les circonstances du gisement s'y prêtent.

4. Le front de taille doit être dirigé régulièrement.

5. Le revêtement définitif doit être exécuté le plus tôt possible. Le toit, et, quand c'est nécessaire, les parois latérales seront toujours soutenus par un revêtement provisoire.

6. Les massifs de houille qui doivent être sous-cavés et les parties mises en porte-à-faux doivent toujours être étançonnés.

7. La nature du soutènement, tant en traçage qu'en dépilage, doit correspondre à la qualité des terrains; elle ne doit pas être laissée à l'appréciation des ouvriers, mais déterminée par la direction de la mine, et portée à la connaissance des ouvriers d'une façon formelle.

Cette règle doit s'entendre aussi bien du boisage provisoire que du revêtement définitif.

8. Le bois doit être fourni aux ouvriers à proximité des fronts de taille et en quantité suffisante.

9. Dans l'exploitation avec remblais, ceux-ci doivent suivre les fronts de taille régulièrement et d'aussi près que possible.

10. Les points dangereux doivent être visités au moins deux fois par poste par un surveillant.

---

Nous indiquerons dans ce qui va suivre les principaux faits et arguments qui ont été exposés dans la discussion de ces conclusions, ainsi que quelques autres propositions qui ont été réservées momentanément ou écartées comme n'étant pas d'une application générale.

*(A suivre.)*

---

# NOTES DIVERSES

## BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

DES

# GISEMENTS DE PHOSPHATES

(2<sup>e</sup> ÉDITION)

PAR **X. STAINIER**

Docteur en sciences naturelles,

Membre de la Commission de la carte géologique de Belgique,

Professeur à l'Institut agricole de l'Etat à Gembloux

[016 :55364]

(*Suite*) (1)

- Heymans.** Eifeler Fossilien in nassauische Phosphorite. (V. N. P. Rh. Sitz., 1869.)
- Hensler.** Ueber ein Phosphoritvorkommen am Steinrother Kopf. (V. M. P. Rh., Sitz., t. XXVIII, 1881, p. 7.)
- Hoyer.** Vorkommen von Phosphorit in Westpreussen. (Z. d. g. G., t. XXXII, 1880, p. 698.)
- Horde.** Phosphorsäure in Schwabische Jura. (Br. in-8°, Kiel, 1887.)
- Horde.** Ueber die Phosphorsäure in Schwabische Jura. (Inaugural Dissertation, br. in-8°, 30 p., Tübingen.)
- Horstig.** Ueber phosphoritvorkommen an der Lahn. (Wochensch. deutscher Ingenieuren, 1883.)
- Haas, H.** Geol. Bodenschaffenheit Schleswig-Holsteins. (Br. 1889, Das Kreidegebirge, p. 39.)
- Helm, O.** Phosphoriten in preussichen Diluvium. (Schr. d. Naturf. Ges. Dantzig, 1885, t. VI, Heft 2, p. 240.)
- Helm, O.** Idem. (N. J., 1886, Heft 2, p. 90.)
- Jentsch, A.** Zusammensetzung der Altpreussen Bodem. (Schriften d. phys. ökon. Ges. Königsberg, t. XX, 1879, p. 26.)
- Jentsch, A.** Untergrund d. Norddeutsch. Flachlandes. (Schriften d. phys. ökon. Ges. Königsberg, t. XXII, 1881, p. 53.)
- Jentsch, A.** Führer durch. d. geol. Samml d. Provinzialmuseums. (Königsberg, 1892, p. 53.)
- Jentsch, A.** Chron. Uebersicht d. Geol. Ost und Westpreussen. (Complément au travail précédent, Königsberg, 1892.)

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, 1902, p. 67.

- Jentzsch, A.** ..... (Schriften d. Naturf. Ges. zu Dantzig, t. VII, 1888, Heft 1, p. 13.)
- Jentzsch, A.** ..... (J. K. P. L., 1883, p. 567; 1884, p. 440; 1885, p. 411.)
- Kosmann.** Vorkommen und Ausbildung von Phosphorit. (N. V. P. Rh., Sitz., 1868. p. 73.)
- Kosmann.** Apatit von Offheim; Kalkwavelit von Derhn und Ahlbach. (N. V. P. Rh., 1869, p. 44.)
- Kosmann.** Apatit von Offheim, Kalkwavelit von Dehrns und Ahlbach. (Z. d. g. G., t. XXI, 1869.)
- Kosmann.** Apatit von Offheim, Kalkwavelit von Dehrns und Ahlbach. (Jahrb. d. Nassauischen Ver. f. Naturk., t. XXI et XXII.)
- Krause, A.** ..... (Z. d. g. G., 1889, p. 611.)
- Klockmann, F.** ..... (J. K. P. L., 1890, p. 241.)
- Klipstein.** Ueber die Entstehung phosphorhaltiger Mineralien von Dillenburg. (Amtl. Ber. des 39 Vers. deutscher Naturf. in Giessen, 1865, p. 235.)
- Meyer.** Analyse der Amberger Phosphorit. (Ann. der Chemie und Pharmacie, t. I, p. 281.)
- Mohr.** Ueber Aragonitähnliche Phosphoritmasse von Nassau. (N. V. P. Rh., 1867, Sitz., p. 25.)
- Mohr.** Ueber Staffelit. (Z. d. g. G., t. XX, 1868.)
- Müller.** Phosphoritlager von Zilly. (J. K. P. L., 1887, p. 375, 1890, p. 193.)
- Naumann.** Ueber Staffelit. (Elemente der Mineralogie, Leipzig, 1859.)
- Petersen.** Ueber natürliche Kalkphosphate. (Jahresb. d. Offenbacher Ver. f. Naturkunde, 1870, t. XI, p. 41.)
- Petersen.** Ueber natürliche Kalkphosphate und Apatit. (N. J., 1872, p. 96.)
- Petersen.** Staffelit im Anamesit von Oschersheim bei Frankfurt. (N. J. 1881, p. 264.)
- Petersen.** Ueber Phosphorit. (Jahresber. d. Offenbacher Ver. f. Naturk., t. VII, 1866, t. VIII, 1867, p. 69.)
- Petersen.** Beziehung des Diabases zu Staffelite. (V. K. K. R., 1869.)
- Petersen.** Ueber phosphorsäurer Kalk. (V. K. K. R., 1869.)
- Petersen.** Ueber phosphorsäurer Kalk. (Journ. f. praktische Chemie, t. CVI, 1869.)
- Petersen.** Ueber Phosphorite. (Chemisch. Centrblatt, t. XIII, 1868, p. 198.)

- Preussner.** Phosphatkugeln aus der Inseln Wollin. (Z. d. g. G., t. XXIII, 1871, p. 772.)
- Rheinsch.** Analyse der Amberger und Radnitzer Phosphoriten. (N. Jahrbuch d. Pharmacie, t. IX, p. 11 et t. XI, p. 267.)
- Schober.** Untersuchung des Amberger Erz und der mit demselben vorkommende Phosphorite. (Bayerische Industrie und Gewerbe Blatt, t. IV, p. 1880.)
- Sandberger.** Die Phosphorit von Amberg und die Staffelit der Lahn und Dillgegend. (N. J., 1867, p. 449 et p. 833.)
- Sandberger.** Ueber Staffelit und Osteolit. (N. J., 1867.)
- Stein.** Ueber Nassauische Phosphorit. (N. J., 1866, p. 803, et 1869.)
- Stein.** Phosphoritpseudomorphose ueber Kalk. (N. J., 1867.)
- Stein.** Bemerkung zur Kosmann's Aufsatz ueber Phosphorite. (Jahrb. d. Nassauische Ver. f. Naturk., t. XXI-XXII, 1867-68.)
- Stein.** Vorkommen von Phosphorsaurer Kalk in der Lahn und Dillgegend. (Zeits. f. d. Berg. Hütten und Salinenw., t. XIV, 1866-68.)
- Stein.** Vorkommen von Phosphorsaurer Kalk in der Lahn und Dillgegend. (Jahresb. d. Nassauische Ver. f. Naturk., t. XIX et XX.)
- Streng.** Eine Apatit reichende Diabas von Gräveneck. (Ber. d. Oberhessische Ges. für Natur und Heilkunde, t. XXII, 1883.)
- Streng.** Ueber Phosphate von Waldgirmes. (Ber. d. Oberhessische Ges. f. Nat. und Heilkunde, t. XIX, 1880.)
- Streng.** Ueber Phosphorite von Waldgirmes. (N. J., t. I, 1881, n° 1 et 2, p. 101.)
- Vaack, M.** ..... (V. K. K. R., Vienne, 1887, p. 308.)
- Vater, H.** Phosphoritknollen des Kahnsteines bei Langelsheim. (Z. d. g. G., 1884, pp. 784 et 792.)
- Vater, H.** Die fossilen Hölzer der Phosphoritlager des Herzogthum Braunschweig. (Dissertation inaugurale, Berlin, 1884, Starcke, éd.)
- Vater, H.** Die fossilen Holzer der Phosphoritlager des Herzogthum Braunschweig. (V. K. K. R., 1885, p. 241, Verhandlungen.)
- Von Strombeek** ..... (Z. d. g. G., 1890, p. 557.)
- Von Koenen.** Das Norddeutsche Unter oligocän. (Abh. zur geol. Specialkart v. Preussen, t. X, 1889, heft I, p. 14 et heft VII, 1894, p. 1426.)
- Von Koenen.** Phosphorit der Magdeburger Gegend. (Sitz. Ges. Bef. gesamt. Nat. Marburg, 1882.)
- Von Koenen.** Phosphorit der Magdeburger Gegend. (N. J. 1883.)

- Vogel.** Analyse der Phosphorit von Fuchsmühl. (Repertorium der Pharmacie, t. VI, p. 292.)
- Von Dechen.** Ueber ein neues Vorkommen der Phosphorit bei Brilon. (N. V. P. Rh. Verh., 1877, p. 119.)
- Von Dechen.** Coprolithen und Sphaerosiderit bei Lebach. (N. J., 1849, p. 109.)
- Von Dechen.** Phosphorit von Bilstein bei Brilon. (N. V. P. Rh., Corr. blatt, p. 117, t. XXXIV, 1877.)
- Von Dechen** und **Von der Marck.** Phosphorsaures Vorkommen der Wolkenburg. (N. V. P. Rh., (3<sup>e</sup> série), t. IX, 1872, Corr.-blatt, p. 89.)
- Von der Marck.** Phosphorsäuregehalt d. Gebirgsorten der Westphalische Kreide und Steinkohlenformation. (N. V. P. Rh., 1858, p. 44.)
- Von der Marck.** Kalkphosphathaltiger Mineral aus Sprockhövel. (N. V. P. Rh., 1872, Corr.-blatt., p. 88.)
- Wicke.** Phosphatkugeln aus d. Eisenstein von Adenstädt. (N. J., 1867, p. 210.)
- Wicke.** Phosphatkugeln aus d. Eisenstein von Adenstädt. (Journ. f. Landwirthe in Hannover, 1866, p. 390.)
- Wicke.** Phosphatkugeln aus d. Eisenstein von Adenstädt. (Göttingen Nachrichten, 1866.)
- Wicke.** Phosphorit von Nassau. (Göttingen Nachrichten, 1868.)
- Wicke.** Phosphorit von Nassau. (N. J., 1869.)
- Wicke.** Die Phosphoritlagerstätten in Nassau. (Hannover Journ. f. Landwirthschaft, 1868, p. 219.)
- Wicke.** Mittheil. aus. den Agric.-chem. Laboratorum in Göttingen. (Hannover Journ. f. Landwirtschaft, 1867, p. 120.)
- ..... Rapport sur les gisements de coprolithes du Hartz. (Bruxelles, in-8°, 1884.)
- ..... Ueber das neuerdings aufgeschlossene Phosphoritlager bei Bredenkopf. (Kasseler Tageblatt, 23 août et 10 septembre 1883.)

#### ANGLETERRE.

- Austen.** Position in the cretaceous series of phosphatic beds. (Q. J. G. S., t. IV, 1848.)
- Bell.** The succession of crag. (G. M., t. IX, 1872.)
- Bonney.** Cambridgeshire phosphate nodules. (G. M., t. IX, 1872.)
- Brodie.** Greensand coprolites. (G. M., t. III.)

- Brodie.** On phosphates and bone-beds in Britain. (Rep. nat. hist. soc. of Warwickshire, t. XXXVI, 1872.)
- Brodie.** On a deposit of phosphatic nodules in the lower greensand of Sandy. (Bedfordshire.)
- Buckland.** Coprolites or présence of phosphate in earth's crust. (Journ. roy. agric. soc. (1<sup>re</sup> série), t. X, 1843.)
- Buckland.** Coprolites in the lias of Lyme-Regis. (Proceedings of the geol. soc., t. I, 1834.)
- Buckland.** On nodules (petrified potatoes) in Lough-Neagh, Ireland. (Q. J. G. S., t. II, 1846.)
- Buckland.** Sur la découverte de coprolites. (Br. Paris, 1830, 19 p., 14 fig.)
- Buckland.** Coprolites at Lyme-Regis. (Transact. geol. soc. of London (2<sup>e</sup> série), t. III.)
- Bidewell.** Coprolites : their mode of occurrence. (Trans. Institute of Surveyors, Londres, t. VI, p. 293.)
- Clutterbuck.** The coprolites beds at Hinxworth. (Trans. Watford. nat. hist. soc., t. I, p. 238.)
- Charlesworth.** Exhaustion of crag nodules. (Suffolk. Chronicle, 1877.)
- Charlesworth.** Exhaustion of crag nodules and remarks on these nodules. (G. M., t. V, 1868.)
- Davies.** North Wales nodular phosphate. (Q. J. G. S., t. XXXI, p. 357.)
- Davies.** Idem. (G. M., t. IV, p. 257, et t. XII.)
- Davies.** Excursion to phosphate mines of North Wales. (Proceed. of the geologist assoc., t. IV.)
- Fischer.** Cambridgeshire coprolite pits. (G. M., t. VIII.)
- Fischer.** On the phosphate nodules of Cambridgeshire cretaceous. (Q. J. G. S., t. XXIX, 1873, p. 52.)
- Fischer.** Cambridgeshire phosphate nodules. (Philosophical Magazine, t. XLIV, 1872.)
- Fitton.** Strata between the chalk and oolite in S.-E. England. (Trans. geol. soc. (2<sup>e</sup> série), t. IV, 1835.)
- Fitton.** Section on the Isle of Wight. (Q. J. G. S., t. III, 1847.)
- Henslow.** On crag nodules. (Rep. Brit. As., 1845, 15<sup>e</sup> meeting.)
- Hernpath.** Chemical comp. and value of fossil bones and coprolithes from the crag. (Journ. of the roy. agric. soc. (1<sup>re</sup> série), t. XII.)
- Hicks.** Researches in North Wales bone caves. (Q. J. G. S., 1886, t. XLIV.)

- Hicks and Hudleston.** Phosphate in the cambrian rocks. (Q. J. G. S., 1875.)
- Hudleston.** Analyse of phosphate from the Folkestone gault. (Q. J. G. S., t. XXX, 1874.)
- Hughes, J.** Analyse of Cambridge coprolites. (Chemical news, t. XXXI.)
- Jemyns.** Phosphatic nodules of Eastern counties. (Procecd. Bath. nat. hist. club, t. I, 1867-69.)
- Jemyns.** On phosphatic nodules. (G. M., t. III.)
- Johnson.** Structure of phosph. nodules from the Bala limestone. (G. M., 2<sup>e</sup> série, t. II, 1875.)
- Johnson, H.-M.** On the microscopic structure of flints and allied bodies (phosphatic nodules). (Journ. Quekett microscopic club, t. III, pp. 234-237.)
- Johnson, H.-M.** Idem. (In-8°, Lewes, 1874.)
- Judd.** On the Speeton Clay. (Q. J. G. S., t. XIV, 1868.)
- Judd.** Neocomian strata of Yorkshire and Lincolnshire. (Q. J. G. S., t. XXVI, 1870.)
- Keeping.** Gault with phosphatic nodules at Upware. (G. M., 1868.)
- Keeping.** Neocomian nodules of phosphate in Bedfordshire. (G. M., 2<sup>e</sup> série, t. II.)
- Lankester.** On the Antwerp and Suffolk crag. (G. M., 1865.)
- Marr.** Phosphatized carbonate of lime at Cave Ha : Yorkshire. (G. M., 2<sup>e</sup> série, t. III.)
- Nesbit.** Phosphoric acid in chalk formation. (Q. J. G. S., t. IV, 1848.)
- Paine and Way.** Phosphoric strata in the chalk. (Journ. of the roy. agric. soc., (1<sup>re</sup> série), t. IX.)
- Phipson.** Analyse of a new phosphate of North Wales. (G. M., 1865, t. II.)
- Prestwich.** Analyse of chalk from Kent. (Q. J. G. S., 1871, t. XXVII.)
- Prestwich.** The crag of Suffolk and Norfolk. (Q. J. G. S., t. XXVI, 1870, et XXVII, 1871.)
- Price.** The gault of Folkestone. (Q. J. G. S., t. XXX, 1874.)
- R.-E.-C.** Phosphate bed of Folkestone. (G. M., 1865, t. II.)
- Seeley.** Rocks of the Cambridgeshire greensand. (G. M., t. III, 1866, p. 30.)
- Sewell.** The coprolites. (Proc. Brighton nat. hist. soc., t. XX, 1873.)
- Sollas.** On the upper greensand and coprolites. (Q. J. G. S., 1873, t. XXIX.)

- Sollas.** Observation on the Cambridge upper greensand. (Q. J. G. S., t. XXVIII, 1872.)
- Sollas.** Idem. (G. M., t. X, 1873 et (2<sup>e</sup> série), t. III, 1876.)
- Solly.** On apatite from Levant mine, Cornwall. (Trans. of the royal. geol. soc. of Cornwall, t. X, p. 240.)
- Straham.** On a phosphatic chalk at Taplow. (Q. J. G. S., 1891, p. 356, 1 pl., t. XLVII.)
- Straham.** Idem. (Proc. of the geologist assoc., 1891, p. 75.)
- Straham.** On a Phosphatic chalk with *Holaster planus* at Lewes. (Q. J. G. S., t. LII, août 1896, p. 463.)
- Teall.** The Potton and Wicken phosphate deposit (Cambridge, 1873, br., Deighton Bell and C<sup>o</sup>.)
- Voelcker.** North Wales phosphate. (Rep. Brit. ass., 1865, Birmingham meeting.)
- Walcker.** Lower greensand phosphatic nodules of Bedfordshire. (G. M., t. IV.)
- Walcker.** Idem. (Annals and magazine of nat. hist. (3<sup>e</sup> série), t. XVIII, 1866.)
- Walcker.** Bedfordshire coprolites. (Rep. Brit. ass., 1866, t. XXXVI.)
- Walcker.** Phosphatic déposit of Upware. (Rep. Brit. ass., 1867, t. XXXVII.)
- Walcker.** Idem. (G. M., t. V, 1868.)
- Walcker.** Reply to M. Seeley on phosphates of Bedfordshire. (Annals and magaz. of nat. hist., t. XX, 1867.)
- Walcker.** The Potton and Wicken phosphate deposit. (G. M., 1876, t. III, 2<sup>e</sup> série.)
- Walcker.** New coprolite workings in The Fens. (G. M., t. IV, 1867.)
- Wood.** On the red crag. (G. M., t. III, 1866.)
- Woods.** Occurence of phosph. nodules in the lower greensand (Sandown). (G. M. (déc. 3), t. IV, p. 46.)

#### ANTILLES.

- Adhémar.** Sombrero et ses phosphates. (Annales du Génie civil, t. VII, 1868.)
- Adhémar.** Idem. (Bull. soc. chimique de Paris, t. IX, 1868.)
- Ceris.** Gisement de phosphate de Sombrero. (Journ. d'agr., 1868.)
- Davis, G.-E.** Analyse of phosphate of lime from Redonda. (Journ. soc. of arts, t. XXV, n<sup>o</sup> 1278, p. 634.)

- D'Invilliers, E.** Phosphate deposits of the Island of Navassa. (Bull. of the geol. soc. of America, t. II, 1890.)
- Hitchcock, C.-H.**, The Redonda phosphate. (Bull. of the geol. soc. of America, t. II, 1890.)
- Haughton.** Analyse of Sombrerit. (Philos., Magazine, t. XXXII, 1866.)
- Hughes.** On Some West-Indian phosphates (Q. J. G. S., t. XLI, 1885.)
- Martin.** Phosphoritische Kalk von des Westindischen Inseln Bonaire. (Z. d. g. G., t. XXXI, p. 473, 1879.)
- Martin.** Mittheilungen über die Inseln Curaçao. (Amsterdam, in-8°, 1886.)
- Martin.** Ueber von ihm angefert. géogr. Karten von Curaçao, Aruba, Bonaire. (Amsterdam, in-8°, 1887.)
- Meyn.** Das Phosphorit-Lager von Curaçao. (Z. d. g. G., t. XXXI, p. 697, 1879.)
- Murchison.** Value of phosphatic rocks of the Leward Islands. (Journ. roy. agric. soc. (1<sup>re</sup> série), t. XX.)
- Noeggerath.** Sombrerit. (N. V. P. Rh., Sitz., 1865, p. 119.)
- Phipson.** Sombrerit. (C. R., 1862, p. 1129.)
- Phipson.** Analyse of West-Indian phosphate. (Chemical news, t. XIII. 1866.)
- Phipson.** Sombrerit. (Chemical news, 1865.)
- Preusner.** Ueber phosphorit von Curaçao. (Z. d. g. G., t. XXXIX, 1888, p. 230.)
- Reid.** Phosphorit von Sombbrero und Navassa. (Jahresbericht der Chemie für, 1876.)
- Sharples.** Turk's Island and guano cave of Caicos Island. (Proc. Boston nat. hist. soc., t. XXII, 1882-83.)
- Sandberger.** Abhandlung ueber das Sombbrero phosphate.
- Shepard, C. U.** Mineral phosphate of alumina from Redonda (Amer. journ. of science and arts, 1869.)
- Shepard, C. U.** On a new mineral, pyrophosphorite, an anhydrous pyrophosphorite of lime from the West-Indies. (Amer. journ. (3<sup>e</sup> série), t. XV, p. 49.)
- Stelzner.** Ueber Kalkstein und Phosphorit von Curaçao. (Verhandl. Bergmann, Vereins. Freiberg, 1876.)
- Twigg.** Submarine quarrying of phosphate at Sombbrero. (Builder, t. XI, 1882.)

**Von Rath.** Ueber Phosphorit von Klein-Curaçao. (V. N. P. Rh., 1879, Sitz., p. 122.)

### ARGENTINE (République).

**Kyle.** Observacion sobre un depósito fosfatico en la Patagonia. (Ann. soc. scientifica argentina, t. X, 1880-81.)

### ASIE-RUSSE.

**Andrussow, N.** Bericht ueber die im Jahre 1887 im Transkaspischen Gebiet ausgefuhrten geologischen Untersuchungen. (J. K. K. R., 1888, t. 38, p. 276.)

### AUTRICHE.

**Boricky, E.** Verbreitung des Kali und der Phosphorsäure in den Gesteinen Böhmens. (Prag. 1873, in-4°.)

**Dunikowsky.** Eponges cénomaniennes de la couche à phosphorite de la Pologne-Autrichienne. (Rapports de l'Académie des sciences de Cracovie, 1889.)

**Gamper.** Alpine Phosphates. (J. K. K. R., t. XXVIII, n° 4, p. 611, 1878.)

**Hoffmann.** Analysen von koprolithen aus Böhmen. (Journ. für praktische Chemie, t. XC, p. 469.)

**Reuss, O.** Ueber koprolithen in Rothliegende Böhmens. (Vienne, 1855, in-8°.)

**Stur.** Phosphorsäurehaltig Gestein in Borloch bei Schönau. (J. K. K. R., Verhandl., 1875, p. 399.)

**Wolf.** Phosphorit des Lavanthales. (J. K. K. R., Verhandl., 1874.)

### BELGIQUE.

**Briart et Cornet.** Notice sur le gisement du phosphate du Hainaut. (B. a. r. B. (2° série), t. XXXVII, 1874.)

**Briart et Cornet.** Existence du tufeau de Maestricht dans l'Entre-Sambre-et-Meuse. (B. a. r. B. (2° série), t. XXII, 1866.)

**Briart et Cornet.** La craie brune phosphatée de Ciplly. (A. s. g. B., t. V, 1878.)

**Blas.** Analyse des nouveaux phosphates riches du Bois d'Havré. (B. a. r. B. (3° série), t. VIII, 1884.)

- Cornet, F.-L. et Briart, Alph.** Notice sur les gisements de phosphate de chaux dans le terrain crétacé de la province de Hainaut. (B. a. r. B., Bruxelles, 1874 (2<sup>e</sup> série), t. XXXVII, pp. 838-841.)
- Cornet.** Epoque de l'enrichissement des phosphates de Ciplly. (A. s. g. B., t. XIII.)
- Cornet.** Compte-rendu de l'excursion de la Société géologique de France, à Ciplly. (B. s. g. F. (3<sup>e</sup> série), t. II, 1874.)
- Cornet.** On the upper cretaceous and phosphate bed of Mons. (Q. J. G. S., t. XLIII, 1886.)
- Cornet.** Phosphates de la craie de Maisières. (A. s. g. B., t. XIII.)
- Cornet.** Phosphates de la craie de Maisières. (Le Mouvement industriel. t. V, 1886, p. 58.)
- Cornet, J.** La craie phosphatée de Ciplly dans la région de Baudour. (A. s. g. B., t. XXVI, 1898, Bull. p. 62.)
- Cornet, J.** Etude géologique sur les gisements de phosphate de chaux de Baudour. (A. s. g. B., t. XXVII, 1899, Mémoires.)
- Delvaux.** Découverte de nodules phosphatés dans divers étages tertiaires. (A. s. g. B., t. XII, Bull. p. 156.)
- Delvaux.** Découverte de gisements de phosphate appartenant à l'étage ypresien. (A. s. g. B., t. XI, 1883-84.)
- Denys.** Nodules phosphatés de la craie d'Obourg. (A. s. g. B., t. XIII.)
- Denys,** Phosphates du bassin de Mons. (Mémoires de l'Union des Ingénieurs sortis de Louvain, 1885.)
- Dethier.** Phosphorites de Baelen. (Rapports sur l'Exposition univ. de Paris, 1867, t. III.)
- Dewalque, G.** Nodules phosphatés diestiens et quaternaires d'Anvers. (A. s. g. B., t. XII, pp. 81 et 94.)
- Dewalque, G.** Note sur le gisement de la chaux phosphatée en Belgique. (B. a. r. B. (2<sup>e</sup> série), t. XVIII, 1864, p. 8.)
- D'Omalius d'Halloy.** Sur des échantillons de phosphate de chaux. (B. a. r. B. (2<sup>e</sup> série), t. XVIII, 1864, p. 5.)
- Firket, Ad.** Fossiles des gîtes de phosphorite de Hesbaye. (A. s. g. B., t. XVII, Bull. p. 44.)
- Gilet, C.** De la formation des dépôts de phosphate de chaux de Liège. (A. s. g. B., t. XIX, 1892.)
- Gossetlet.** Aperçus sur le gîte de phosphate de chaux de Hesbaye. (A. s. g. N., t. XIX, 1890-91, p. 43.)
- Jeannel.** Phosphates du lias de Belgique. (A. s. g. B., t. VII, 1880.)
- Jorissen, A.** Sur la présence de l'iode dans la phosphorite de Ramelot. (A. s. g. B., t. VI, Bull. p. 156.)

- Julin, Ch.** Les gisements de phosphate de la Hesbaye. (1890, br. Liège, in-8°.)
- Lambert.** Gisement de phosphate de chaux sous la ville de Louvain. (B. a. r. B. (2<sup>e</sup> série), t. XXIX, 1870.)
- Lambert, G.** Découverte d'un gisement de phosphate de chaux dans le terrain crétacé du Brabant. (B. a. r. B., 1894, p. 378.)
- Lambert, G.** A propos du gisement de phosphate du bassin de Mons. (Mém. de l'Union des Ingénieurs sortis de Louvain, octobre 1884.)
- Lasne.** Sur la composition des phosphates de Mons. (A. s. g. N., t. XVII, 1890, p. 141.)
- Lohest.** Le conglomérat à silex et les gisements de phosphate de Hesbaye. (A. s. g. B., t. XII, 1884-85, Mém. p. 41.)
- Lohest.** Découverte de gisements de phosphate de calcium en Hesbaye. (A. s. g. B., t. XI, p. 125, Bull.)
- Lohest.** Sur la position géologique des couches qui ont formé le phosphate de Hesbaye. (A. s. g. B., t. XVII, 1889-90, p. 19, Bull.)
- Lohest.** Sur une variété de phosphate de chaux d'Alleur. (A. s. g. B., t. XII, Bull. p. 74.)
- Lohest.** Des gisements de phosphate de Hesbaye. Etendue de la zone où on peut les rencontrer. (A. s. g. B., t. XVII, 1889-90, p. 137.)
- Lohest.** Analogie de formation d'une variété de phosphate de chaux de la Hesbaye et des phosphorites de Curaçao et de Floride. (A. s. g. B., t. XIX, 1892.)
- Melsens.** Importance du gisement de phosphate de Ciplly. (B. a. r. B. (2<sup>e</sup> série), t. XXXVIII, 1874.)
- Malaise.** Phosphorite de Ramelot (*La Belgique agricole*, Bruxelles.)
- Nihoul.** A propos de l'origine des phosphates de la Hesbaye. (A. s. g. B., 1893, Bull. p. 108.)
- Nivoit.** Les phosphates de Ciplly. (C. R., t. LXXIX, 1874.)
- Nivoit.** Les phosphates du Hainaut et du Nord de la France. (Assoc. franç. pour l'avanc. des sciences, 4<sup>e</sup> session, 1875.)
- Ortlieb.** Sur la cipllyte. (A. s. g. N., t. XVI, 1888-89, p. 270.)
- Ortlieb.** A propos de la cipllyte. (A. s. g. N., t. XVII, 1890, p. 155.)
- Pellet.** Les phosphates en Belgique. (Bull. du Cercle des naturalistes hutois, 1890, p. 51.)
- Petermann.** Analyse de phosphates du lias belge. (A. s. g. B., t. VII, 1880.)

- Petermann.** Les phosphates de Ciply (3 notes). (B. a. r. B., 1875, 1878 et 1881.)
- Petermann.** Le phosphate de chaux en Belgique. (Bull. de la station agricole de Gembloux, 1874, n° 9, et 1884, n° 31.)
- Petermann.** A propos de l'origine des phosphates de chaux. (A. s. g. B., 1893, p. 108.)
- Phipson.** Découverte de coprolithes dans les terrains tertiaires de Laeken-lez-Bruxelles. (Journ. de médecine, de chirurgie et de pharmacologie, 14<sup>e</sup> année, t. XXII, 1856, p. 400.)
- Rutot et Vanden Broeck.** Sur le tufeau de Ciply et le crétaé supérieur du Hainaut. (A. s. g. B., t. XII et XIII.)
- Rutot, A.** Les dépôts phosphatés de la Hesbaye. (Bull. soc. belge de géologie, procès-verbaux, p. 158, t. IV, 1890.)
- Rutot, A.** Les nouveaux gisements de phosphates de Baudour. (J. s. c. agric. Bruxelles, 1898, t. XLV, n° 3, p. 51.)
- Rutot, A.** Les gisements de phosphates et leur emploi. Les phosphates du Hainaut. Les phosphates de la Hesbaye. (J. s. c. agric. Bruxelles, 1891, pp. 8-16, t. XXXIX.)
- Raeymaekers.** Au sujet des phosphates de chaux. (Ann. de la soc. malacologique de Belgique, t. XXXII, 1897, procès-verbaux. p. iv.)
- Schmitz.** Le phosphate de chaux de Hesbaye. (A. s. g. B., t. XVII, 1889-90, Mém. p. 185.)
- Stainier.** Les dépôts phosphatés des environs de Thuillies, (A. s. g. B., 1890, Bull.)
- Vandenbroeck, E.** Observations sur le mode de formation des gisements de phosphates de chaux de la Hesbaye. (Bull. soc. belge de géologie, 1896, t. VIII, p. 48, Mém.)
- ..... Note sur l'importance du gisement de Ciply. (Mon. industriel belge, 1874-75.)
- ..... Phosphorite de Verviers. (C. R., 1872, t. LXXIII.)
- ..... Note sur les gisements de phosphate du Hainaut. (Mon. industriel belge, 1874-75.)

### CANADA.

- Adams, U.** The phosphate industry of Canada. (Canadian economics, 1883, p. 189.)
- Adams.** On the occurrence of Norwegian Apatitbringer, in Canada with a few notes on the microscopic character of some lauren-

- tian Amphibolites. (Rep. of the Brit. Ass. for the Adv. of science, 54<sup>e</sup> meeting, p. 719, 1884, Montréal.)
- Adams et Lawson.** Canadian apatites. (The canadian record of science, 1889.)
- Bell.** Canadian apatites. (Proc. of the Canad. Instit. Toronto, t. XXI.)
- Bell.** Canadian apatites. (The engineering and mining journal, New-York. 1885, 9 mai, t. XXXIX.)
- Biggsby.** On the laurentian formation. (G. M., 1864, pp. 154 et 200.)
- Boyd-Dawkins** Canadian apatites. (Trans. of the géol. soc. of Manchester, t. XVIII, 1886.)
- Broome.** Canadian phosphates with référence to their use in agriculture. (Canadian naturalist, t. V, 1870, p. 243.)
- Broome.** Phosphate found in N. and S. Burgess and Emsley (Ontario). (Rep. of the progress of the geol. Survey, 1870-71, p. 316.)
- Browne.** Canadian apatites. (American chemist, t. I, 1871.)
- Browne.** Canadian apatites. (Amer. assoc. for the Advanc. of science, 1870, 29<sup>e</sup> meeting, Troy.)
- Dawson.** The phosphates of cambrian and laurentian rocks of Canada. (The canadian naturalist, 1876-77, p. 162.)
- Dawson.** The phosphates of cambrian and laurentian rocks of Canada. (Q. J. G. S., t. XXXII, 1876.)
- Grognard, E.** Apatites du Canada. (Mémoires de l'Association des Ingénieurs sortis de Louvain, 1891.)
- Hoffmann.** On canadian apatites composition. (Rep. of the geol. Survey progress, 1876-77-78.)
- Harrington.** Apatites of Canada. (Rep. of the geol. Survey progress, 1876-77-78.)
- Harrington.** On the minerals of some of the apatite bearing veins of Ottawa county. (Montréal, 1879.)
- Hutton.** On canadian apatites composition. (Chemical news, t. XXI.)
- Kinahan.** Apatites of Buckingham. (Journ. of the royal. geol. soc. of Ireland, t. XVII, 1886, part. I.)
- Kinahan.** On a possible genesis of the canadian apatites. (Trans. of the geol. soc. of Manchester, t. XVIII, 1886, p. 123.)
- Kinahan.** Note on Dawkins' paper on apatite deposits of Ottawa. (Trans. of the geol. soc. of Manchester, t. XVIII, 1886, p. 132.)
- Kinahan.** Idem. (The scientific proceedings of the royal soc. of Dublin, t. IV, 1885, p. 327.)

- Logan.** Phosphate of lime in Canada. (Rep. of progr. of geol. Survey, 1851, p. 28, 1858, p. 64, 1863, p. 125, 460, 757.)
- Ladureau.** Phosphates du Canada. (*La Nature*, 13 décembre 1889.)
- Mackintosh.** Canadian apatite. (The mineral resources of Canada for 1882.)
- Matthew.** On phosphate nodules from the cambrian of Southern New-Brunswick. (Trans. New-York, Acad. Science, t. XII, 1893, p. 108.)
- Merrith.** Economic minerals of Canada. (Br. 1885.)
- Obalski.** Apatites du Canada. (Rapport sur la province de Québec, 1889.)
- Obalski.** Apatites du Canada. (Bull. Ecole des mines de Paris, mai 1883-85, pp. 116, 138.)
- Richardson.** Phosphatic serpulites. (Rep. of progr. of geol. Survey, 1866-67-68-69, p. 125.)
- Schutt.** Canadian apatites. (Proceed. of the Canad. Instit. Toronto (2<sup>e</sup> série), t. V, 1887-88.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Trans. of the Amer. Inst. of mining Engin., t. XII, 1883, t. XIV, 1885.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (The eng. and mining journ. New-York, t. XXXVII, 1884.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Nat. history soc. of Montréal, 1884-1885.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Minéral physiography and physiology. p. 225.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Rep. of progres. of the geol. Survey, 1858, p. 132, 1863, p. 202 et 224.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Proc. of the Americ., Assoc. for the adv. of science, 1885, Ann-Arbor.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Géology of Canada, pp. 461, 592, 761.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (N. J., 1864.)
- Sterry-Hunt.** Canadian apatites. (Zeitschrift für gesamt. Naturw. Halle, t. XXIII, 1865.)
- Sterry-Hunt.** Black phosph. nodule at riv. Ouelle in conglomérat. (Rep. progr. of the geol. Survey, 1851-52, p. 106.)
- Sterry-Hunt.** Bones and coprolites in lower silurian of Canada. (Q. J. G. S., t. VIII, 1852.)
- Sterry-Hunt.** Rep. upon phosphate on the properties of M. M. Osborne, etc. (Ottawa, br.)

- Smith, J.-B.** Canadian phosphate and fertilizers. (Canadian mining review, t. XIV, 1895, n° 7, p. 130.)
- Terrance, F.** Canadian apatites. (Rep. of progr. of geol. Survey, 1882-83-84.)
- Vennor.** Gisements d'apatite du comté d'Ottawa. (Géologie du Canada, 1876-1877, p. 343.)
- Vennor.** Apatite of Canada. (Rep. of progr. of the geol. Survey, 1870-1871-1872-1873-1874-1875-1876.)
- Wilcox.** Apatite in laurentian rocks on North side of Rideau lake. (Proc. Acad. of nat. science of Philadelphia, 1873, p. 275.)
- ..... Phosphate of Canada. (American Institute of mining engin., 1892, t. XXI, p. 1001.)

#### CUBA.

- Petermann, A.** Le guano de chauve-souris de l'île de Cuba. (Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture, t. II, in-8°, Bruxelles, 1895, Mayolez.)

#### EGYPTE.

- ..... Découverte de phosphate en Egypte. (*Journal l'Engrais*, 1901, n° 3, p. 64.)

#### ESPAGNE.

- Badoureau.** Gisements de phosphate de l'Estramadure. (Bull. Soc. centr. d'agriculture de France., t. XXXVIII, p. 80.)
- Calderon.** Notes sur les nouvelles phosphorites du Sud de l'Espagne. (B. s. g. F., 3<sup>me</sup> série, t. VII, p. 11, 1878-1879.)
- Calderon.** Id. (Boll. comit. géolog. d'España, t. VI.)
- Calderon.** Fosforita en el mediodia de España. (Bolet. del. mapa. geologic., 1879, t. VI.)
- Calderon y Arana.** Fosforita de Belmés. (Ann. soc. Españ. hist. nat.. t. VI, 1878.)
- Chevreul.** Remarques concernant certaines phosphorites d'Espagne. (C. R. (2<sup>e</sup> série), t. XXXII, p. 400.)
- Delesse.** Gîtes d'apatite de l'Estramadure. (Journ. soc. centr. d'Agric. de France, 1877.)
- Daubeny and Widrington.** Phosphate in Estramadura. (Journ. roy. agricultural society (1<sup>re</sup> serie), t. V, 1845.)

- Daubeny and Widrington.** Occurrence of phosphorite in Estramadura. (Q. J. G. S., t. I, 1845.)
- Daubeny and Widrington.** Idem. (Liebig's Annal., t. LV, 1845.)
- De Prado. C.** De la fosforita. (Madrid, br.)
- Egozcue y Mallada.** Description geologica de la provincia de Caceres. (Mémorias de la Com. del mapa geol. d'España, 1876, 1 pl., 4 cartes.)
- Forbes.** On phosphorit from Spain. (Phil. Magazine, 1865, t. XXIX.)
- Gil et Maestre.** Criaderos de fosforita. (Memorias de la Com. del mapa geol. de España. (Descrip. de la provincia de Salamanca, Madrid, 1880.)
- Inguscza, R. de.** Algunas indicaciones sobre la extraña naturaleza de los coprolitos de Terrer en la provincia de Zaragoza. (Bol. Com. mapa geol. Españ., vol. I.)
- Jacquot.** Phosphorit from Estramadura. (Q. J. G. S., 1845.)

(A suivre.)

---

QUELQUES NOTES  
SUR  
L'EXPOSITION  
ET LE  
Congrès international des Ingénieurs  
à GLASCOW en 1901

---

3<sup>e</sup> ARTICLE (1)

[62(063)(4) + 62(064)(41)]

---

Le Fer et l'Acier.

---

*La nomenclature de la métallographie.*

---

La *métallographie*, dans le sens le plus général, a pour objet la description de la structure des métaux et de leurs alliages; on peut aussi dire que c'est la science qui s'occupe de la composition, de la constitution, de la structure et des propriétés physiques des métaux et de leurs alliages, sans comprendre la *métallurgie* qui est exclusivement l'art de les travailler.

Le baron Jüptner (Donawitz, Autriche) a donné le nom de *sidérologie* à la partie de cette nouvelle science qui concerne le fer et ses alliages.

Dans un premier article, nous avons fait connaître qu'un Comité, comprenant des savants des divers pays, avait été chargé par le Conseil de l'Institut du fer et de l'acier, d'élaborer le projet d'une nomenclature de la métallographie donnant les équivalents allemands, anglais et français des principaux termes employés dans cette nouvelle science.

---

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, p. 885 et t. VII, p. 83.

Nous sommes actuellement en mesure de donner plus de développements à cette importante question.

Nous n'entendons pas reproduire tous les termes du glossaire présenté au Congrès de Glasgow, mais un certain nombre d'entre eux dont il n'est plus permis, pour ainsi dire, d'ignorer la signification, si l'on veut pouvoir lire les publications modernes ayant trait à la constitution des métaux et de leurs alliages et notamment du fer et de l'acier.

Nous avons supprimé l'ordre alphabétique du glossaire pour examiner ensemble les termes qui ont entre eux certaines relations.

### Différents états du fer pur.

Le terme  $\alpha$  est employé pour désigner la condition normale du fer pur au-dessous de la température de 750 degrés C. Ce fer cristallise dans le système cubique.

Le terme  $\beta$  indique un état allotropique non magnétique du fer pur existant aux températures comprises entre 750 et 850° C. Le fer  $\beta$  est isomorphe avec le fer  $\alpha$  et cristallise par suite dans le système cubique. Quand le fer  $\beta$  se change en fer  $\alpha$ , il se produit un dégagement de chaleur et un développement des propriétés magnétiques.

La terme  $\gamma$  désigne une condition allotropique non magnétique du fer pur existant aux températures dépassant 850° C. Un tel fer cristallise dans le système cubique et ses formes cristallines sont des combinaisons du cube et de l'octaèdre (mais plus fréquemment de l'octaèdre) dérivé du cube. Par le passage du fer  $\gamma$  en fer  $\beta$ , il se produit un dégagement de chaleur.

### Eléments et constituants du fer et l'acier.

En métallographie, on entend par *constituants* les parties constitutives des alliages et des substances métalliques. Des alliages contenant seulement deux ou plusieurs éléments ou composants peuvent contenir trois ou plus de constituants.

Le carbone est l'élément de beaucoup le plus important que l'on rencontre dans le fer et l'acier. Il a reçu divers noms.

On appelle d'abord *carbone du carbure* (Angl. *carbide carbon*; All. *Carbidkohle*), celui qui existe dans la « cémentite »; il est synonyme de carbone combiné.

On donne le nom de *carbone de recuit* (Angl. *carbon annealing*;

All. *Temperkohle*), au carbone finement divisé ayant les propriétés du graphite, qui se sépare de la fonte blanche et de certains aciers pendant le recuit prolongé, et, selon Ledebur, de l'acier à haute teneur en carbone quand il est porté à la chaleur rouge par un rapide martelage. Il est insoluble dans les acides dilués.

Le *graphite* (Angl. *graphite carbon*; All. *Graphit*), est le carbone qui se sépare des fers hautement carburés liquides, préalablement à la solidification et au point de cette dernière.

On entend par *missing Carbon* (Hogg), cette partie du carbone des aciers *tremvés* et *revenus* qui ne donne pas de couleur quand on dissout l'acier dans l'acide nitrique.

L'expression *carbone de trempe* (Angl. *hardening carbon*; All. *Haertungskohlenstoff*), désigne l'état du carbone quand il confère la dureté à l'acier, comme dans les aciers refroidis d'au-dessus le point *Ar*. C'est, comme le « carbone du carbure », du carbone combiné. Le baron Jüptner distingue trois variétés de carbone combiné : bi, tri et tétracarbonate.

L'*austénite* (1) est un terme qui désigne un constituant de l'acier plus doux et moins magnétique que la « martensite » avec laquelle elle est souvent associée. Elle se produit par l'immersion, dans de l'eau glacée, de petites pièces d'acier contenant plus de 1.5 % de carbone, portées à une température de 1100° C.

La structure d'un tel acier se développe par le polissage à l'aide d'une peau humidifiée avec une solution de nitrate ammonique par exemple. L'austénite reste blanche, tandis que la martensite devient brune et affecte une forme en zig-zag. Par suite de son faible degré de dureté, elle est rayée, plus profondément que la martensite, par une aiguille promenée transversalement et, parce qu'elle ne paraît stable qu'aux plus hautes températures, le baron Jüptner a été conduit à la considérer comme une solution de carbone élémentaire ou de carbure de fer ionisé dans le fer.

Le terme *cémentite* a d'abord été appliqué par le professeur Howe, au carbure de fer à l'état séparé comme un constituant de l'acier.

Les recherches d'Abel, Müllèr, Osmond et autres montrent qu'il peut être représenté par la formule  $Fe^3C$ . Ce terme peut être néanmoins et a d'ailleurs été employé pour embrasser tous les carbures

---

(1) Angl. *austenite*; All. *Austenit*. Nous nous dispenserons désormais de donner les équivalents anglais et allemands, lorsqu'ils diffèrent aussi peu des termes français.

séparés dans la fonte et l'acier contenant du manganèse, du chrome, etc. Les carbures libres dans presque tous les métaux commerciaux et les aciers ne sont pas absolument composés de  $Fe^3C$  seul, mais sont des mélanges en union moléculaire avec  $Mn^3C$ . La cémentite peut exister en grains fins, en plaques minces ou en masses comparativement grandes dans l'acier. Selon Osmond, c'est le constituant le plus dur de l'acier, non colorable par le polissage et l'attaque par l'acide nitrique dilué, la solution d'iode, l'acide chlorhydrique dans l'alcool, etc.

Sauveur distingue la cémentite *ségréguée* et la cémentite *libre*; la première est un constituant de la « perlite », tandis que la dernière se rencontre indépendamment. Cette distinction fut notée par Sorby. Comme le terme *ségréguée* donne l'idée d'une séparation, il convient d'écarter ce mot et de lui substituer le terme de *perlite-cémentite*.

La *ferrite* est un terme employé par Howe pour désigner le fer pur. Il est maintenant employé pour désigner cette partie de l'acier ou du fer ne contenant aucun carbure ou tout au plus des traces dans la solution solide. Il désigne par conséquent le fer qui peut ou non contenir du silicium, du manganèse, du nickel, etc., lesquels forment des solutions solides ou des mélanges cristallisés isomorphes avec le fer.

La ferrite est le plus doux des constituants. Le caractère le plus certain est la rencontre de contours d'attaque cuboïdes consécutifs au traitement par l'acide nitrique ou le chlorure de cuivre et d'ammonium.

La *martensite* communique la structure caractéristique aux aciers trempés, polis et attaqués chimiquement. Ce constituant a l'apparence d'un système de fibres rectilignes, fréquemment disposées en forme de triangles.

Selon Osmond, la martensite correspond : 1° d'un point de vue physico-chimique, au taux maximum de fer allotropique et de carbone de trempe, qui peut être retenu par un refroidissement brusque de fers carburés dans lesquels le contenu en carbone des cristaux mélangés n'excède pas environ 1.10 % avant la trempe; 2° d'un point de vue mécanique, au maximum de dureté correspondant à un tel contenu en carbone. En pratique, la martensite est produite par la trempe de petits échantillons dans l'eau froide.

Arnold estime que ce terme devrait être employé pour l'acier trempé contenant la même quantité de carbone que la perlite. La composition de la martensite n'est pas bien définie. Le baron Jüptner

suppose que c'est une solution de carbure de fer dans le fer, tandis que Campbell lui donne comme composition  $Fe^8C^2$ .

Le terme *perlite* (Ang. *pearlite*; All. *Perlit*) a d'abord été appliqué par le professeur Howe, comme synonyme du constituant *pearly* découvert par le D<sup>r</sup> Sorby, de Sheffield. La perlite consiste en plaques alternantes de cémentite et de ferrite ou de sorbite, ou de grains de cémentite englobés dans la ferrite ou la sorbite.

Le baron Jüptner considère que la cémentite de la perlite se compose principalement du carbure  $Fe^{12}C^4$ , mais que la sorbite contient peut être  $Fe^8C^3$ . Ceci correspond aux données de Campbell.

La *sorbite* est un constituant de l'acier qui est une transition entre la « troostite » et la perlite.

Jüptner croit que, selon toutes probabilités, c'est une solution de  $Fe^8C^3$  dans le fer et que la sorbite peut être identique à la « troostite ».

Elle pourrait presque être appelée une *perlite non ségrégée*. Entre celle-ci et la troostite ou la sorbite, il n'existe aucune ligne de démarcation bien tranchée. La sorbite est obtenue irrégulièrement par un refroidissement suffisamment bas pour permettre à la transformation de se produire assez loin et d'une façon suffisamment rapide pour produire une séparation imparfaite de la ferrite et de la cémentite.

En pratique, ces conditions sont plus ou moins remplies par le refroidissement dans l'air de petits échantillons, par la trempe dans l'eau froide vers la fin de la récalescence, par la trempe dans le plomb fondu, par certaines *doubles trempes* ou par le recuit de la martensite à la couleur bleue.

Un autre constituant est la *troostite*; selon Osmond, elle est contenue dans les aciers de diverses teneurs en carbone en les trempant à diverses températures. Elle se révèle en polissant l'acier à l'aide d'une peau humidifiée avec une solution de nitrate ammonique; elle prend promptement une couleur brune par ce traitement. Elle est relativement plus tendre et plus rapidement attaquée par les acides que la martensite. Sa composition et sa structure moléculaire n'ont pas été déterminées.

Elle est facilement reconnaissable en attaquant par l'acide chlorhydrique (1 cc.) dans l'alcool (100 cc.). Elle se colore en noir, tandis que la martensite ne change absolument pas de couleur.

D'après M. Le Châtelier, c'est un constituant intermédiaire qui se produit par la transformation de la martensite en perlite et vice-versa. C'est très vraisemblablement une solution du carbure  $Fe^8C^3$  dans le fer.

## Eutectiques, solutions solides, etc.

*Eutectique* est un terme employé par Guthrie (1875) pour indiquer la liqueur-mère solidifiée. Tous les eutectiques ont un point de fusibilité en dessous de la moyenne de leurs constituants.

On fait également usage des expressions : alliage eutectique et mélange eutectique. Selon le baron Jüptner, on donne ce dernier nom à un eutectique après solidification et séparation en ses parties constituantes qui restent en micro-juxtaposition. On donne le nom d'acier *eutectique* à l'acier normal à 0.9 % de carbone; les aciers plus carburés sont désignés sous le nom d'*aciers hyper-eutectiques* et ceux dont la teneur est moindre sont des *aciers hypo-eutectiques*.

Le terme *solution solide* (Angl. *solid solution*; All. *Feste Lœsung*), a été employé dans le cas où, deux ou plusieurs métaux venant à se solidifier, un ou plusieurs de ces métaux fondus sont retenus dans les autres, à la manière d'une véritable solution liquide d'un sel dans l'autre. Il n'y a pas de séparation des constituants lorsque la solution fluide passe à l'état de solution solide. Cette dernière s'appelle aussi *solution congelée* (Angl. *congealed* ou *solidified solution*; All. *erstarrte Lœsung*).

Il convient aussi de définir l'expression *liqueur-mère* (Angl. *mother-liquor*; All. *Mutterlauge*). Pendant le progrès de la congélation de tout système comprenant plusieurs substances dans un état de solution, une partie de la solution reste à l'état fluide après que des cristaux solides s'en sont séparés; elle s'appelle « liqueur-mère ».

Une *phase* est définie comme une masse chimiquement ou physiquement homogène, ou comme une masse de concentration uniforme. L'état d'une phase est complètement déterminé, si la pression de la température en même temps que le potentiel chimique de ses composants sont connus. Ce terme a été parfaitement décrit et expliqué par M. Le Châtelier, dans son mémoire intitulé : *La loi des phases* (Revue générale des sciences, 10<sup>e</sup> année, n<sup>o</sup> 20, 1899.)

Dans la Chimie physique, on entend par *phase*, des particules homogènes que l'on rencontre dans un corps et qui sont séparées des autres parties de ce corps. Des exemples de phases se rencontrant dans l'acier sont la ferrite, la martensite et la cémentite, tandis que la perlite contient deux ou trois phases (ferrite, cémentite et sorbite).

Le terme *ségrégation* (All. *Ausscheidung* ou *Saigerung*) est appliqué aux parties plus fusibles des métaux et des alliages qui sont les

dernières à se congeler et sont entraînées dans certains centres locaux par le métal qui cristallise d'abord. On trouve généralement des ségrégations près du centre des moulages et elles sont plus prononcées dans les grandes masses que dans les petites.

L'*interpénétration* (All. *Durchdringung*) désigne l'infiltration de matières plus fusibles entre les faces cristallines. Il est possible que les effets nuisibles de la ségrégation sont dûs à ce que l'attraction entre deux faces cristallines est détruite par la pénétration de substances non résistantes, telles que le sulfure ou le phosphure de fer.

On désigne par *retassure* (Ang. *pipe* ; All. *Lunker* ou *Schwindungshohlraum*), la cavité formée dans la partie centrale d'un lingot.

Les *soufflures* (Ang. *blowholes* ; All. *Blasenhohlräume*) sont de petites cavités, sphériques ou ellipsoïdales, trouvées dans des lingots de métaux fondus. Elles consistent en bulles de gaz qui n'ont pu s'échapper complètement avant que le métal ne devienne complètement solide.

Dans le but de développer la structure constitutionnelle et cristalline des métaux et des alliages, les surfaces polies sont soumises à l'action d'agents appropriés, tels que l'acide nitrique, l'iode, les acides sulfurique et chlorhydrique, etc. ; cette action est désignée par le terme : *attaque chimique* (Ang. *etching* ; All. *Aetzen*).

### Courbes de refroidissement, points critiques, récalescence, etc.

On entend par *courbe de refroidissement* (Ang. *cooling curve* ; All. *Abkühlungskurve*) une représentation schématique des changements thermiques qui se produisent quand les substances liquides ou solides se refroidissent et dans lesquelles le temps et la température sont coordonnés.

Les courbes de refroidissement peuvent être représentées de diverses manières : 1° en prenant comme coordonnées la température  $T$  et le temps  $t$ , depuis le commencement du refroidissement ; la courbe ainsi obtenue se rapproche alors plus ou moins de la forme parabolique ; 2° en prenant comme coordonnées la température du métal  $T$  et le temps nécessaire pour qu'il se refroidisse d'un nombre déterminé de degrés ; cette courbe est exprimée par  $\frac{dt}{dT}$  ; 3° en choisissant comme coordonnées la température et la différence entre le temps nécessaire,

pour le refroidissement du métal considéré, comparé avec celui nécessaire pour d'autres métaux; les courbes ainsi obtenues peuvent être appelées courbes de refroidissement différentiel.

Le terme *courbe de fusibilité* (Angl. *freezing point curve*; All. *Erstarrungspunktskurve* ou *Gefrierpunktskurve*), désigne une représentation schématique donnant l'ensemble d'une série complète de courbes de refroidissement de divers alliages comprenant deux ou plusieurs métaux ou substances métalliques, dont la température et la composition sont coordonnées. Une courbe montrant la relation entre ces deux éléments d'un système hétérogène dans lequel les phases présentes sont en équilibre avec chacune des autres s'appelle *courbe d'équilibre* (Angl. *equilibrium curve*; All. *Gleichgewichtskurve*).

On entend par *courbe d'échauffement* (Angl. *heating-curve*; All. *Erhitzungskurve*), la représentation schématique des changements thermiques que l'on rencontre quand les substances solides sont chauffées et que le temps et la température sont coordonnés.

Un *point critique* (Angl. *critical point*; All. *kritisch Punkt* ou *Haltepunkt*), est le point (ou la zone) auquel se produit un changement physique ou chimique, comme, lorsque pendant le refroidissement du fer pur ou de l'acier à partir de 900° C., un dégagement de chaleur indiquant un changement physique se manifeste aux points critiques  $Ar_3$  et  $Ar_2$ . Quand le changement ne se produit pas en un point fixe, mais s'étend sur plusieurs degrés, l'aire de changement s'appelle une *zone*.

Ces points *critiques* sont désignés par les lettres  $Ac_1$ ,  $Ac_2$ ,  $Ac_3$ , etc., quand ils désignent des points d'inflexion dans les courbes d'échauffement du fer et de l'acier; on les désigne par les lettres  $Ar_1$ ,  $Ar_2$ ,  $Ar_3$ , etc., quand ils s'appliquent aux courbes de refroidissement. Ces points ne se rencontrent pas aux mêmes températures quand la transformation se produit par échauffement ou par refroidissement. Par suite d'un retard auquel on donne le nom d'*hystérésis*, le point critique  $Ac$  se manifeste à une température légèrement supérieure à  $Ar$ ; dans les aciers, la différence entre ces deux températures peut atteindre et même dépasser 50° C.

Le terme *hystérésis*, qui est spécialement employé dans l'étude du magnétisme, est employé par le professeur Ewing, dans un sens plus général pour caractériser la dissipation de l'énergie que l'on rencontre dans tout cycle d'opérations.

Le terme *récalescence* s'emploie pour exprimer le phénomène du dégagement de chaleur interne qui se rencontre quand le fer ou l'acier se refroidit au passage des points critiques.

Dans les aciers au carbone, la récalescence se produit au refroidissement vers 650 à 700° C.; elle correspond à un changement parfaitement caractérisé dans la constitution moléculaire du métal; ce changement est accusé tant par des observations micrographiques que par des réactions chimiques.

En pratique, pour apprécier le changement en question, on trempe des aciers à une température plus élevée que celle de la récalescence et on les compare à d'autres qui ont été soit lentement refroidis, soit refroidis brusquement à partir d'une température inférieure à celle de la récalescence.

La connaissance des points critiques a donc une grande importance au point de vue de la trempe des aciers. Selon que la température à laquelle le métal a été porté est supérieure ou inférieure à celle d'un point critique, l'acier présentera deux états d'équilibre qui peuvent beaucoup différer, soit par suite d'une transformation de l'un des constituants, soit par suite d'un changement dans le groupement chimique, au moment du passage par le point critique.

---

*Notes sur les alliages de cuivre et de fer.*

(Communication de M. J.-E. STEAD)

La plupart des auteurs de traités de métallurgie n'étant pas d'accord sur la question des alliages du cuivre et du fer, l'auteur a cru devoir effectuer des recherches en vue d'être fixé à ce sujet. Ces recherches ont été exécutées récemment dans son laboratoire à Middlesbrough.

## HISTORIQUE.

La relation des expériences faites dans le laboratoire du D<sup>r</sup> Percy (*Metallurgy of Iron and Steel*, 1864, p. 147) conduirait le lecteur à conclure que le fer et le cuivre peuvent s'allier en toutes proportions.

S. Rinman, en 1782, fit un alliage de cinq parties de fer et d'une partie de cuivre. L'alliage était dur et résistant.

G. Rose trouva que les anciennes bagues romaines en fer contenaient généralement du cuivre.

Faraday et Stodart fondirent l'acier avec 2% de cuivre sans améliorer sa qualité. (*Phil. Trans.*, 1882, p. 266.)

Eggertz (*Wagner's Jahresbericht*, 1862, p. 9) trouva que le fer forgé avec 0.5% de cuivre n'était que peu cassant à chaud, tandis que l'acier contenant 0.5% de cuivre était sans valeur.

Longmaid prit en 1863 un brevet pour un alliage de 2.5 à 10 livres de cuivre pour 1 tonne de fer. L'inventeur soutenait que le fer ainsi obtenu présentait une dureté extraordinaire.

En 1835, Mushet trouva que le fer malléable s'unit à du cuivre en toutes proportions, jusqu'à ce qu'il égale ou même excède le poids du cuivre. Il constata que la couleur rouge de l'alliage devenait plus pâle quand le fer dépassait 50%. L'alliage à 50% possédait une grande résistance. L'alliage devenait plus dur quand le fer augmentait en teneur. Mushet ne fit pas seulement des expériences en alliant le fer malléable avec le cuivre, mais il fit aussi des alliages avec l'acier et la fonte. Il affirme que l'acier fondu avec 5% de son

poids de cuivre était considérablement durci, impropre aux usages de la forge et incapable de prendre un tranchant. Le lingot était cristallisé comme l'acier fondu et ne montrait aucune trace de cuivre ni sur la surface externe ni dans la cassure. L'acier fondu avec 10 % de son poids de cuivre donnait un lingot extérieurement semblable en apparence au dernier, mais avec la cristallisation linéaire radiée moins distincte. Il était dur et fragile et de petits points de cuivre étaient visibles dans la cassure.

Un lingot obtenu en fondant l'acier avec 20 % de son poids de cuivre, paraissait rouge de cuivre sur la surface inférieure et brillant d'acier sur la surface supérieure; la cassure avait un grain régulier. L'acier fondu avec un tiers de son poids de cuivre (c'est-à-dire 25 % de la masse totale) donnait un lingot consistant en du cuivre au fond; ce métal apparaissait en nœuds et raies dans la cassure.

La fonte blanche donnait à peu près les mêmes résultats, mais il y avait une plus grande tendance à la séparation quand le cuivre dépassait 5 %. Quand la fonte grise n° 1 était fondue avec 5 % de cuivre, on trouvait des taches de cuivre rouge sur la surface inférieure du lingot et dans la cassure; avec 10 % de cuivre, ce métal s'attachait à l'extérieur de la fonte, et avec 20 % on trouvait sous la fonte un bouton solide de cuivre au fond du creuset.

Il concluait que le cuivre s'unit au fer en proportion de la diminution de la teneur en carbone.

Karsten (*Percy's Metallurgy of Iron and Steel*) dit que le fer (sans désigner si c'est de la fonte ou du fer pur) ne peut prendre qu'un certain, probablement un très petit, pourcentage de cuivre, de même que le cuivre ne peut se combiner qu'avec une petite quantité de fer.

Howe (*Metallurgy of steel*, p. 368) écrit que M. Brustlein l'informa que trois lots d'acier-cuivre exposés à Paris par Holtzer contenaient de 3 à 4 % de cuivre; qu'avec plus de 1 % ils étaient cassants à chaud; qu'ils n'avaient été fabriqués qu'à titre d'expérience; qu'il croit que l'acier-cuivre n'a pas d'avenir; que le cuivre ne paraît pas uniformément distribué dans le métal et qu'il paraît favoriser la formation de soufflures.

M. Bauerman (*Treatise of the Metallurgy of Iron*, p. 49, 5<sup>e</sup> édition) affirme que les deux métaux peuvent être mélangés en presque toutes proportions, mais il doute absolument si un alliage homogène peut être préparé.

Edwin J. Ball et Arthur Wingham (*Journal of the Iron and Steel Institute*, n° 1, 1889, p. 123) paraissent n'avoir eu aucune difficulté en alliant 4.4 % de cuivre avec du fer doux et 7.14 % dans de l'acier contenant 0.71 % de carbone, et ils ne paraissent pas avoir remarqué du cuivre dans la cassure de l'alliage.

Henri Schneider (*Engineering and Mining Journal*, vol. L, p. 40, oct. 1890) prit un brevet pour un procédé permettant de produire, en fondant des couches alternées de coke, de fonte et de cuivre, des alliages qui étaient remarquables par leur grande résistance, leur élasticité et leur malléabilité. Ils contenaient entre 5 et 20 % de cuivre.

W.-H. Greenwood (*Metallurgy of Iron*, vol. I, p. 77) signale que l'union directe du fer et du cuivre est obtenue avec difficulté, mais on peut obtenir un alliage homogène apparent par la réduction simultanée des oxydes de fer et de cuivre.

J.-A. Philipps et H. Bauerman (*Elements of Metallurgy*, 3<sup>e</sup> édition, 1891, p. 142) estiment que le cuivre ne forme pas de véritable alliage, sauf en présence d'un troisième métal.

James Riley (*Journal of the Iron and Steel Institute*, n° I, 1890, p. 123) qui a effectué des expériences en alliant de l'acier avec du cuivre, affirme ce qui suit : « Si un alliage de cuivre et d'acier était » fabriqué et si le métal résultant était examiné sous le microscope, » on trouverait qu'il n'y a pas alliage proprement dit ; le cuivre est » disséminé dans toute la pièce. Si en faisant cet alliage, on employait » de l'aluminium, on trouverait un résultat complètement différent : » l'alliage serait parfait. »

F. Lynwood Garrison (*Journal Franklin Institute*, août 1891) affirme que 5 % de cuivre s'allient rapidement avec de l'acier, mais il doute qu'avec 10 % on obtienne un alliage parfait.

W. Lipin (*Journal of the Iron and Steel Institute*, 1900, n° II) a trouvé que l'addition de cuivre à la fonte au bois de Suède augmentait la fluidité relative et que les cassures devenaient de plus en plus cristallines et plus brillantes à mesure que le pourcentage en cuivre s'élevait. Le cuivre à la teneur de 4.9 % augmentait la résistance à l'extension de 29<sup>o</sup>9 à 34<sup>o</sup>65 par millimètre carré et il ne tendait pas à retenir le carbone à l'état combiné. Le taux maximum de cuivre que prendrait la fonte de fer a été trouvé de 5 %, tant pour la fonte blanche que pour la fonte grise. Il conclut que la présence du cuivre dans les pièces de fonderie ne présente, semble-t-il, aucun avantage, mais qu'elle ne doit non plus inspirer aucune inquiétude.

Le même auteur a allié de l'acier avec différentes teneurs de cuivre jusque 10 %, mais il ne rapporte pas si les cassures des alliages refroidis montraient des taches de cuivre quand on les examinait au microscope. Il a constaté qu'à mesure que la teneur en carbone augmente dans l'acier, la proportion de cuivre, 3 %, doit être réduite, sans quoi le produit se fend pendant le travail à chaud.

En étudiant les observations rapportées par les auteurs qui ont effectué des essais récents en alliant du fer, de l'acier et de la fonte avec du cuivre, il n'est pas surprenant que ceux qui ont étudié leurs travaux et rapports aient eu beaucoup de difficultés à formuler des conclusions précises. Toutes, ou au moins la plupart des observations des divers chercheurs sont probablement correctes, mais la différence d'interprétation ou la confusion provient de ce qu'il n'a été tenu aucun compte de l'influence du carbone.

#### NOTES SUR LES ALLIAGES MÉTALLIQUES.

La plupart des métallurgistes ont leurs idées personnelles quant au point de savoir ce qu'est réellement un alliage métallique, et, de temps à autre, on rencontre des qualificatifs tels qu'un *vrai*, un *parfait* et un *imparfait* alliage ; ce qui nous amène à conclure que la définition du mot n'est pas si simple qu'elle paraît au premier abord. Les recherches modernes paraissent montrer qu'un alliage métallique est un mélange de substances métalliques, qui se dissolvent mutuellement et s'incorporent parfaitement sous l'influence de la chaleur, de la pression, etc., et qui ne se séparent pas, à l'état fluide, en deux couches superposées, comme l'huile et l'eau, préalablement à la solidification.

Des substances métalliques peuvent renfermer des métaux, des composés chimiques définis de métaux avec des métaux (on en connaît un grand nombre), des composés chimiques définis de métaux et de non-métaux, tels que les carbures, les phosphures et les siliciures de fer et de manganèse. D'après la définition ci-dessus donnée, les spiegeleisen, les fontes grises et blanches peuvent être regardés comme de vrais alliages.

Des parfaits alliages peuvent être définis comme étant ceux qui sont absolument homogènes quand ils sont à l'état solide. Ils consistent : 1° en composés chimiques définis d'un des métaux constituants avec l'autre ; 2° en mélanges isomorphes homogènes des substances métalliques constituantes formant les alliages.

Les eutectiques se trouvent dans une situation intermédiaire; ils ne sont pas absolument homogènes puisqu'ils sont composés de constituants séparés en juxtaposition dans un état très fin de division.

Les alliages les moins parfaits peuvent être définis comme étant ceux dans lesquels, pendant la solidification, un ou plusieurs des constituants cristallisent avant les autres, qui éventuellement se solidifient, laissant un mélange plus ou moins imparfait mais régulier dans le métal froid.

Si les constituants sont de différentes couleurs, ils peuvent être facilement découverts dans la cassure. Les constituants pourpres et blancs de l'alliage du cuivre et de l'antimoine, contenant 35 % de cuivre et 65 % d'antimoine, se voient très aisément dans la cassure.

Si dans un alliage les constituants sont de même couleur, la cassure paraît homogène, mais ce n'est qu'une homogénéité de teinte. Une cassure de fonte blanche Cleveland montre du carbure et du phosphore de fer et de la perlite, mais ils ont tous approximativement la même couleur, c'est pourquoi le caractère hétérogène n'est pas apparent. S'ils étaient de couleur différente, chaque constituant pourrait être décelé à l'œil nu.

Les constituants des alliages ne sont pas les éléments composants présents, mais les parties séparées, visibles sous le microscope. Un eutectique peut être regardé comme un constituant composé.

#### PREMIÈRE PARTIE.

### Alliages de cuivre et de fer.

*Composition de la matière employée.* — Pour le cuivre on prit une quantité suffisante de lingots du meilleur cuivre; ces lingots furent fondus et granulés en coulant dans l'eau.

L'analyse des lingots a donné ce qui suit :

Cuivre . . . . .	99.7300
Oxygène . . . . .	0.0600
Plomb . . . . .	0.0440
Zinc . . . . .	0.0130
Antimoine . . . . .	0.0070
Or . . . . .	0.0004
Argent. . . . .	0.0200
Arsenic . . . . .	0.0500
Bismuth . . . . .	0.0040
Nickel. . . . .	0.0470
Fer . . . . .	0.0140

En ce qui concerne la matière fer, on fit choix, dans toutes les expériences où il était nécessaire que le carbone fût pratiquement défaut, de tournures brutes de l'acier n° 5 de l'Association britannique. La teneur en carbone a été trouvée aussi basse ou même plus basse qu'elle n'avait été préalablement rencontrée dans des aciers doux du commerce.

L'analyse a donné :

• Fer . . . .	par différence	99.542
Carbone . . .	—	0.035
Manganèse . .	—	0.317
Silicium . . .	—	0.008
Soufre . . . .	—	0.036
Phosphore . .	—	0.042
Cuivre . . . .	—	0.020

*Mode de fabrication des alliages.* — Des mélanges de cuivre granulé et de rognures de fer ont été simplement fondus ensemble dans des creusets d'argile sans carbone. Le fourneau employé était un creuset de fusion du type ordinaire, chauffé au coke de gaz. Il était capable de donner une chaleur suffisante pour fondre le fer pur. Les mélanges pouvaient se solidifier et se refroidir dans les creusets.

Quand on faisait des essais pour s'assurer si oui ou non les métaux étaient séparés l'un de l'autre préalablement à la solidification, on adoptait le système suivant : Une série de tubes de porcelaine de 1 1/2 centimètre de diamètre intérieur et de 5 centimètres de longueur, fermés à une extrémité, étaient placés côte à côte dans un creuset de ombagine. Les vides entre les creusets étaient remplis de sable blanc. Les différents mélanges étaient placés dans les tubes, le métal plus léger étant invariablement placé au fond. Après remplissage, les tubes étaient fermés avec des tampons de ganister plastique et un couvercle de même matière était appliqué sur les tubes et le sommet du creuset.

Après un séchage soigné, le creuset avec son contenu était chauffé pendant une heure à une température suffisante pour fondre le fer pur. Le couvercle du fourneau était alors enlevé et le feu était abandonné à lui-même sans déranger le creuset, lequel en douze heures était suffisamment refroidi pour le manier. Les petits lingots cylindriques étaient alors, retirés de leurs tubes de porcelaine et sciés verticalement au centre, ou, s'ils étaient trop durs à scier, ils étaient usés sur une roue à l'émeri, de manière à montrer des sections

verticales de métaux solides. Ceux-ci, dans tous les cas, étaient polis et examinés systématiquement à travers toute leur longueur.

Le résultat de ces examens montrait à la fois s'il y avait eu séparation en deux couches liquides ou s'il y avait eu une tendance à une semblable séparation.

Le système adopté de maintenir les métaux à l'état fluide au-dessus de leurs points de fusion et de leur permettre ensuite de se refroidir et de se solidifier très lentement, offrait les meilleures conditions possibles à la séparation, et s'il existait une tendance quelconque pour un métal à se séparer de l'autre, elle serait décelée.

Dans le but d'être absolument certain que l'analyse et la structure étaient exactement en corrélation, après examen, on sciait en deux parties les micro-sections; une partie était conservée comme un micro-objet et l'autre était analysée.

La méthode d'analyse employée était la suivante :

On dissolvait environ 0.5 gramme de l'alliage dans la plus petite quantité possible d'eau régale, et, quand la dissolution était complète, on expulsait les acides en excès en chauffant avec de l'acide sulfurique concentré. Le cuivre était séparé par l'acide sulfhydrique et le fer, déterminé dans la partie filtrée par une solution titrée de bichromate. Les sulfures de cuivre précipités étaient redissous dans l'acide nitrique et le cuivre était déterminé volumétriquement par la méthode de l'iode, méthode trouvée, par une longue expérience, comme donnant des résultats aussi exacts que les méthodes électrolytiques les plus perfectionnées. Quand le carbone était présent, on le déterminait en brûlant le résidu non dissous de l'alliage dans la chlorure acide de cuivre et de potassium, ou par la combustion directe dans l'oxygène. Le silicium et les autres métalloïdes étaient déterminés par les méthodes usuelles exactes employées dans l'essai des aciers.

### Résultats micro-chimiques obtenus.

En réexaminant les résultats de très nombreuses expériences, on trouve que :

1° Le cuivre et le fer s'allient en toutes proportions par fusion directe, et, dans aucun des alliages, il n'y a de tendance, pour les métaux, de se séparer en deux couches liquides distinctes ;

2° La série complète des alliages peut donner lieu à un classement en trois sections distinctes :

A. Alliages avec des traces de fer, jusque 2.73 %, et 97.20 % de cuivre ;

B. Alliages avec 2.73 % à 92 % de fer et 97.20 % à 8 % de cuivre ;

C. Alliages contenant du cuivre en faible proportion jusque 8 %.

Tous ces mélanges peuvent être appelés de véritables alliages, par suite de l'absence de globules et de nœuds de cuivre ou de fer (1).

Les alliages de la *classe A*, contenant entre des traces et 2.73 % de fer sont d'apparence homogène et ne contiennent pas plus d'un constituant micrographique. Ils ont tous l'aspect du cuivre pur. Quand le fer augmente en quantité, les alliages deviennent un peu plus durs. Ils peuvent être coupés et sciés, et sont faiblement attirés par l'aimant. Ils peuvent être classés comme de parfaits alliages, consistant en grains cristallins isomorphes de fer et de cuivre.

Les alliages de la *classe B* contiennent entre 2.73 % et 92 % de fer et 97.20 % et 8 % de cuivre. Aussitôt que la proportion de 2.73 de fer est dépassée, on trouve que les alliages refroidis contiennent un constituant séparé, consistant d'abord en *crystallites* à six rayons (2), d'un constituant riche en fer. Quand on approche de 10 %, ces *crystallites* changent de forme et prennent le caractère dendritique ou cruciforme de réseaux octaédriques. Quand le fer augmente encore en proportion, ces *crystallites* se développent également et peuvent s'entrecroiser dans leur accroissement indépendant et prennent la forme de grains cristallins arrondis séparés par des enveloppes de cuivre contenant 2.73 % de fer en solution. Ces enveloppes deviennent d'autant plus minces que l'on approche de l'alliage à 90 % de fer et 10 % de cuivre, et à ce point elles ne recouvrent plus que partiellement les grains cristallins.

Dans tous les alliages de cette classe, la cassure suit généralement les enveloppes de cuivre et sous ce rapport il n'y a aucune différence

---

(1) Il était très difficile d'obtenir du fer allié avec une petite quantité de cuivre sans introduire dans l'alliage du silicium ou de l'oxyde de fer dissous. Quand le silicium faisait défaut, de l'oxyde de fer existait. Un alliage avec un peu de silicium et 9 % de cuivre paraît ne pas contenir du cuivre en liberté. Quand l'oxyde de fer est présent, du cuivre pur apparaît dans l'alliage avec 8.4 % de cuivre.

La détermination du point critique exact manque encore et la proportion de 8 % ne doit être regardée que comme approximative.

(2) En métallographie, le *crystallite* peut être défini comme un cristal imparfait, dans lequel les faces planes et les angles ne sont pas développés.

dans la couleur de la cassure des alliages contenant respectivement 90 et 20 % de cuivre. Dans l'alliage à 10 % de cuivre, comme ce dernier n'enveloppe que partiellement les grains, la cassure suit le cuivre, puis le clivage des grains de fer, laissant, sur la cassure, une « macrostructure » (c'est-à-dire, une structure visible sans le microscope), de larges surfaces de cuivre et de fer distribuées irrégulièrement, apparence qui peut aisément conduire à la conclusion que le cuivre et le fer ne sont réellement pas alliés. C'est sans doute à cause de cela que des observateurs ont autrefois été trompés en examinant seulement les cassures.

Quand les alliages sont polis, l'apparence est complètement différente: la couleur change graduellement de celle du cuivre pur à celle du fer à mesure que le fer augmente en proportion et l'alliage contenant 10 % de cuivre et 90 % de fer, tout en paraissant, d'après la cassure, contenir beaucoup de cuivre, présente, sur la surface polie, un aspect tel que si le cuivre faisait défaut.

Les propriétés magnétiques des alliages de cette classe augmentent avec la teneur en fer.

Les cristallites de fer se rouillent facilement et les surfaces des alliages polis se ternissent rapidement.

Les alliages de la *classe C* contiennent entre 8 % et des traces de cuivre. Quand le fer est allié avec environ 8.0 % de cuivre, l'alliage refroidi ne montre aucune trace de cuivre dans la cassure et le métal poli apparaît également dépourvu de tout constituant couleur de cuivre quand il est examiné sous le microscope, et tous les alliages contenant moins que cette proportion de cuivre en paraissent également dépourvus.

En oxydant par le chauffage ou en chauffant doucement les surfaces polies jusqu'à ce qu'elles prennent une teinte jaune pâle, les grains cristallins ne sont pas également colorés. L'oxydation commence aux limites extérieures et s'avance vers le centre.

On a de plus remarqué qu'en chauffant de cette façon, les alliages contenant le plus de cuivre étaient le plus rapidement colorés. Cela étant, il paraît raisonnable de conclure que, dans cette classe, quand les métaux se solidifient, la première partie qui abandonne la solution contient le plus de fer et, quand l'accroissement se produit, la phase liquide devient plus concentrée en cuivre; de même que, quand les cristaux continuent à grandir, une quantité de plus en plus grande de cuivre tombe hors de la solution avec le fer jusqu'à ce que la dernière partie se solidifie avec une proportion

maxima du premier élément. Quand la teneur en cuivre excède environ 8 %, les cristaux de fer-cuivre, en complétant leur accroissement, rejettent entièrement à l'extérieur l'excédent de l'alliage cuivre-fer qu'ils ne peuvent retenir en solution.

La photographie (fig. 4) de l'alliage à 10 % de cuivre illustre pleinement les remarques précédentes. Les taches noires représentent le cuivre-fer rejeté de la solution; les parties ombrées, un changement graduel dans la composition des grains cristallins depuis les parties extérieures riches en cuivre jusqu'aux parties internes riches en fer (1).

#### DEUXIÈME PARTIE.

### L'influence du carbone sur les alliages du cuivre et du fer

Les résultats de la fusion du cuivre et du fer contenant des proportions variables de carbone confirment pleinement les observations de Mushet, que le cuivre s'unit avec le fer en proportion de la diminution de la teneur en carbone. En répétant l'expérience de ce chercheur et en fondant 5 % et 10 % de cuivre avec de l'acier contenant 1 % de carbone, on a trouvé que le premier s'alliait parfaitement et qu'il ne se décelait pas de cuivre libre sur les surfaces polies ou fracturées de l'acier refroidi, tandis que le second, avec 10 % de cuivre, montrait des nœuds d'un constituant couleur de cuivre sur les lingots brisés et les sections polies. On a de plus constaté que l'acier avec 1 % de carbone dissolvait et retenait en solution environ 7 % de cuivre, et que, quand ce taux est dépassé, l'excès est rejeté de la solution et apparaît comme les globules ou les nœuds de Mushet. Ces gouttes ou globules se rencontrent pour la plus grande partie, près de la base des lingots, contenant 10 % de cuivre, mais ils ne sont pas séparés de l'acier lui-même. Leur forme et leur position conduisent à la conclusion qu'ils étaient libérés quand l'acier était dans un état semi-fluide, et qu'en vertu de leur plus grande pesanteur, ils ont traversé la masse pour se rendre à la partie inférieure, où ils ont été mécaniquement

---

(1) Ces grains cristallins en gradation sont ce que le professeur Roozeboom décrivait comme des « cristaux mêlés ». Ce dernier terme est employé en métallographie pour désigner deux ou plusieurs substances qui cristallisent ensemble dans un tout homogène.

tenus en suspension et n'ont pu s'échapper entièrement quand l'acier s'est solidifié.

Quand la proportion de cuivre augmente au dessus de 10 %, le nombre de globules suspendus augmente également, et, quand on fond 25 % de cuivre avec 75 % d'acier, une partie du cuivre se sépare de l'acier avant qu'il ne se solidifie et on le trouve au fond du lingot en couche séparée. Il n'est néanmoins pas pur, mais il est associé avec environ 10 % de fer, dont une partie est en solution et une autre, sous forme de cristallites dendritiques.

La couche supérieure d'acier contient des globules de cuivre qui augmentent en quantité de la surface vers le centre.

Tous ces alliages d'acier sont trop durs pour être coupés, sciés ou limés. Le cuivre, en passant dans la solution, ne cause pas de séparation de la cémentite libre.

Lors de l'« oxydation par le chauffage » d'un alliage de 7 % de cuivre et 0.93 de carbone, les teintes indiquent que les grains cristallins primaires contiennent le plus de cuivre vers les limites externes. Les grains de perlite secondaires sont différemment teintés, conduisant à la conclusion que les différents grains peuvent contenir différentes teneurs de cuivre.

Par l'attaque avec la teinture d'iode ou l'acide nitrique dilué, les mêmes différences ont été établies.

Bien que cet alliage eût été très lentement refroidi, la structure de la perlite était réellement très fine, les lamelles de cémentite étant très minces et très serrées.

Quand la fonte contenant 3.4 % de carbone et environ 5 % de silicium est fondue avec un excès de cuivre, deux couches liquides se séparent, l'une, celle du fond, consistant en une couche de cuivre contenant environ 8 % de fer, et l'autre, celle du dessus, consistant en une couche de fonte grise sombre, contenant 7.4 % de cuivre et où des globules de cuivre sont mêlées. La quantité de cuivre retenue sous forme de globules varie suivant la rapidité avec laquelle le métal est refroidi ; le maximum est atteint quand il est rapidement refroidi et le minimum quand le refroidissement est prolongé.

Quand un alliage contenant des parties égales de cuivre et de fer est fondu dans un creuset sur un fond de charbon de bois et qu'on le laisse s'y refroidir, il se sépare en deux couches distinctes composées comme suit :

	Couche du dessus.	Couche du fond.
Fer . . . . .	87.00	9.60
Cuivre . . . . .	10.34	90.02
Carbone . . . . .	2.07	0.08
Silicium . . . . .	0.45	»
Divers. . . . .	0.14	0.30
	<hr/>	<hr/>
	100.00	100.00

Ces résultats montrent de la façon la plus claire que le carbone, en se combinant avec le fer ou avec une partie de celui-ci, rejette une grande partie de cuivre de la solution, qui alors se précipite au fond du creuset. Ils montrent aussi que le cuivre séparé a emporté avec lui du fer contenant environ 0.84 % de carbone. Le microscope a prouvé que la couche supérieure contenait de la cémentite libre en quantité considérable, puis des globules de cuivre, et des portions, entre les bandes de cémentite, d'une substance dans laquelle la perlite ou cémentite eutectique faisait, en apparence, défaut.

La couche de cuivre a été trouvée contenir des réseaux de cristallites octaédriques de fer distribués également dans la masse, mais la partie joignant immédiatement la couche de fer en était dépourvue; ce fait tendrait à conduire à la conclusion qu'en se solidifiant, la force cristallisante de la masse contiguë de fer réduisait ou attirait du cuivre le plus rapproché des cristallites de fer qui, au lieu de tomber hors de la solution et de rester suspendus dans le cuivre, étaient attirés par le fer, avec lequel il s'unissait. (Voir photog. n° 6.)

Une partie de la couche supérieure a été fondue, avec du charbon de bois, à la chaleur blanche, pendant une heure, puis refroidie lentement.

L'examen a montré qu'un petit globule de cuivre s'était séparé et s'était attaché à la partie inférieure. Ce globule fut détaché et analysé en même temps que la portion fer, et on obtint les résultats ci-après :

	Couche supérieure.	Globule du fond.
Fer . . . . .	89.00	2.73
Cuivre . . . . .	7.64	97.10
Carbone combiné . . . . .	2.30	»
Graphite. . . . .	»	»
Silicium . . . . .	0.84	»
	<hr/>	<hr/>
	99.78	99.83

Il est ici évident que quand le cuivre est en solution dans le fer, il limite la quantité de carbone que le fer peut absorber, car il n'en a été pris que 2.3 %, dans des conditions telles que, si le cuivre avait fait défaut, la teneur en carbone aurait approché de 4 %, ou même plus.

Le petit globule contenant 2.73 % de fer apparaît, au microscope, complètement homogène et est dépourvu de cristallites de fer.

La couche ferreuse contenait de la cémentite libre, sous forme de filets renfermant des cellules qui, polie avec une peau humidifiée à l'aide d'une solution de sulfate ammonique, présentait une structure identique aux plus beaux exemplaires d'austénite et de martensite produits par Osmond. La photographie fig. 5 en est une illustration. La structure en zig-zag correspond à la martensite; le fond, en demi-ton, à l'austénite; les parties blanches, à la cémentite. En grattant avec une aiguille, il ne paraît pas y avoir de différence sensible en dureté entre les parties sombres et celles en demi-ton. Elles sont, en apparence, également rayées par l'acier dur. Le spécimen était loin d'être homogène. Au voisinage du point où le globule de cuivre avait été attaché, la cémentite disparaissait et les cellules ou grains consistaient à peu près en structure de cémentite pure. Il n'a pas encore été déterminé avec certitude si ces structures indiquent de la martensite ou de l'austénite. Un supplément d'investigations est encore nécessaire sous ce rapport.

Quand une petite portion, pesant environ 2 grammes, a été chauffée et trempée à 900° C., les surfaces d'inter-cémentite ont présenté une structure analogue à celle des mêmes surfaces de la matière lentement refroidie, avec cette différence que la structure en zig-zag de la martensite sur le fond légèrement coloré était beaucoup plus belle et plus également distribuée; cette observation conduirait à conclure que, quelle que soit la substance obtenue, elle doit s'être dispersée et séparée par un refroidissement rapide. S'il était démontré que la masse du fond blanc est de l'austénite, ce fait serait d'un haut intérêt, car jusqu'à présent ce constituant n'a été obtenu que dans les aciers à haute teneur en carbone, après la trempe à une température élevée, tandis que dans cet exemple les structures les plus prononcées ont été obtenues avec l'alliage lentement refroidi.

Dans le but de s'assurer si oui ou non le cuivre, quand il est additionné à de la fonte en fusion, a une influence pour retarder ou accélérer la séparation du graphite quand il se solidifie dans la lingotière, on a fait l'expérience suivante :

De la fonte hématite, à faible teneur en silicium, contenant, au centre, de la fonte blanche et, à l'enveloppe, de la grise, choisie spécialement comme représentant la transition entre la fonte grise et la fonte blanche et par conséquent très susceptible aux influences tendant à produire la séparation ou le maintien du carbone à l'état de combinaison, a été fondue avec environ 5 % de cuivre dans un creuset. Le métal a été ensuite versé dans un moule et, après refroidissement, on l'a brisé et on a examiné la cassure. Il avait une belle apparence grise et était complètement privé de toute tache de fonte blanche. Le carbone combiné était de 1.20 %.

Ce résultat paraît confirmer l'opinion de Lipin, que le cuivre ne tend pas à transformer la fonte grise, en fonte blanche, et que sous ce rapport sa présence dans la fonte de moulage ne doit inspirer aucune crainte.

D'après ce que nous connaissons de l'effet du cuivre sur le fer et l'acier, il est aussi certain, comme l'observe Lipin, qu'il augmente la ténacité de la fonte quand il y est allié.

### RÉSUMÉ.

Si l'on résume les résultats rapportés précédemment, les faits suivants peuvent être notés :

1° Le carbone, quand il est présent, limite la proportion de cuivre qui peut être allié au fer, la proportion de 7.5 % étant le maximum dans la fonte hématite grise contenant 3 % de silicium, et celle d'environ 15 %, dans l'acier avec 1 % de carbone. Mais dans la plupart des alliages carbone-fer-cuivre, du cuivre existe sous forme de globules et est mécaniquement suspendu dans le métal solide. La quantité de ce cuivre mécaniquement suspendu varie avec les modes de solidification des métaux ; elle est la plus élevée quand le refroidissement est rapide et la plus basse quand il est très lent. La quantité retenue en solution après solidification n'a pas été complètement déterminée. Dans l'acier, la proportion n'excède probablement pas 7 % ;

2° Les alliages formés d'environ parties égales de cuivre et de fer, qui ne se séparent pas en deux couches distinctes avant solidification, quand ils sont refondus à une chaleur blanche sur du charbon de bois, absorbent du carbone et se séparent ensuite en deux couches liquides distinctes : l'une contenant environ 2 % de carbone et 10 % de cuivre, et l'autre, la plus lourde, environ 10 % de fer et 0.08 % de carbone ;

3° Le cuivre dans la fonte ne paraît pas avoir l'influence de retenir le carbone à l'état combiné, ou de causer une séparation de graphite;

4° L'étude micrographique des aciers contenant du cuivre, conduit à la conclusion que le cuivre retarde la formation de la perlite.

Les mêmes aciers ne différant que par le cuivre, contiennent, à froid, après un même refroidissement comparativement rapide, plus de carbure dispersé quand le cuivre est présent que quand il fait défaut. Par un refroidissement très lent, les carbures paraissent se séparer également dans les aciers cuivreux et dans les aciers normaux.

Cette particularité explique pourquoi le recuit et le refroidissement lent ont le même effet doucissant marqué, rapporté par Lipin et d'autres sur les aciers cuivreux;

5° Le cuivre dans la fonte de fonderie ne doit pas être redouté; son seul effet paraît être celui d'augmenter la ténacité;

6° Les quelques remarques contradictoires des auteurs dans les traités, paraissent devoir être dues au fait que quelques-uns d'entre eux peuvent n'avoir pas pris en considération l'effet du carbone d'empêcher le cuivre de s'allier avec le fer. La fonte ne s'allie qu'avec de petites quantités de cuivre, tandis que le fer pur s'allie en toutes proportions.

L'auteur conclut qu'il reste encore beaucoup à apprendre et beaucoup de recherches à faire avant de connaître à fond le sujet des alliages cuivre-fer-carbone.

---

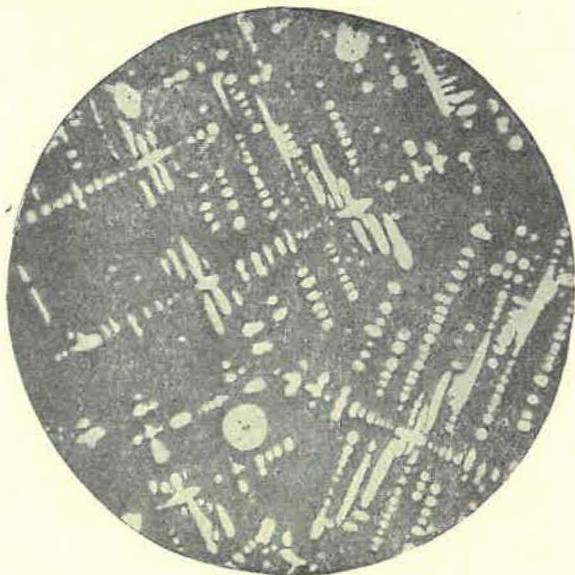


FIG. 1. — Cuivre, 74.5 %; fer, 25.2 %. — Structure développée par polissage. — Parties blanches : Constituant fer-cuivre. — Parties noires : Constituant cuivre-fer.

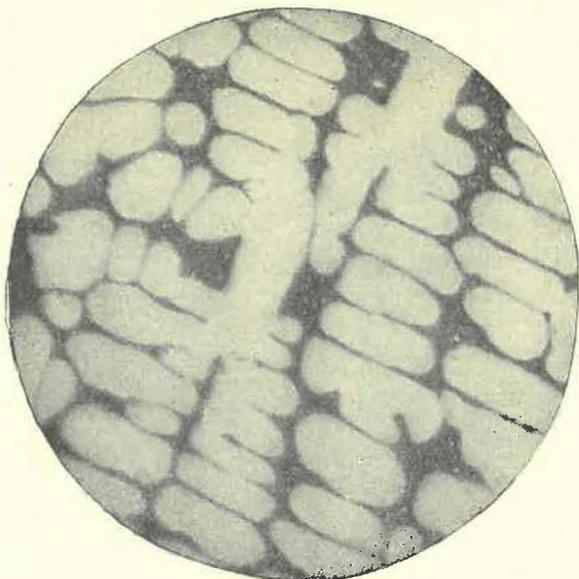


FIG. 2. — Cuivre 53.0 %; fer 46.3 %. — Structure développée par polissage. — Parties blanches : Constituant fer-cuivre. — Parties noires : Constituant cuivre-fer.

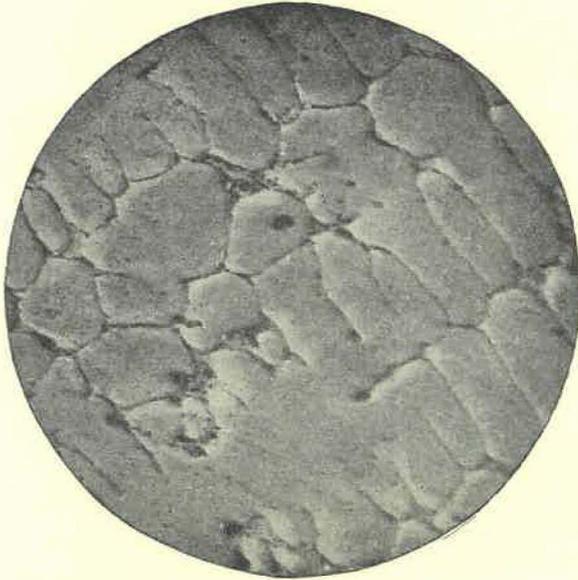


FIG. 3. — Cuivre 20.5 0/0; fer 79.1 0/0. — Structure développée par polissage. — Parties blanches : Constituant fer-cuivre. — Parties noires : Constituant cuivre-fer.

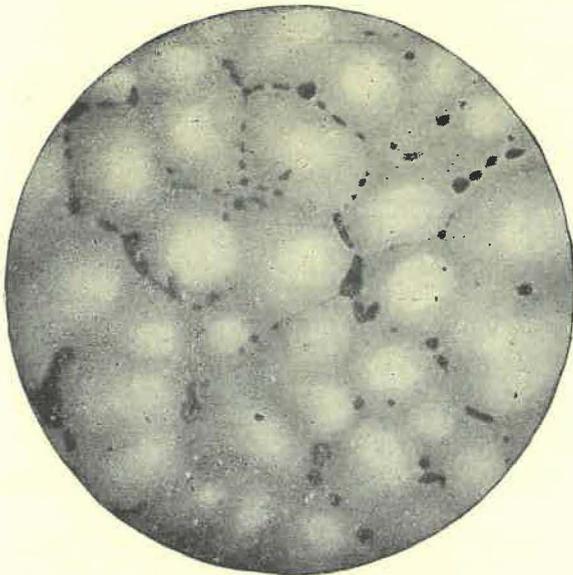


FIG. 4. — Cuivre 10 0/0; fer 89.6 0/0. — Structure développée par l'oxydation par chauffage. — Parties blanches : Constituant fer-cuivre. — Parties noires : Constituant cuivre-fer. — On remarque le caractère gradué des grains cristallins, plus riches en fer dans leurs parties centrales que dans les parties extérieures.



FIG. 5. — Cuivre 7.64 0/0; fer 89.0 0/0; carbone 2.30 0/0; silicium 0.84 0/0.  
 — Attaque par l'iode. — Enveloppe en réseau: Cémentite. — Parties foncées  
 en zig-zag: Structure de la martensite. — Fond blanc: apparemment de  
 l'austénite.

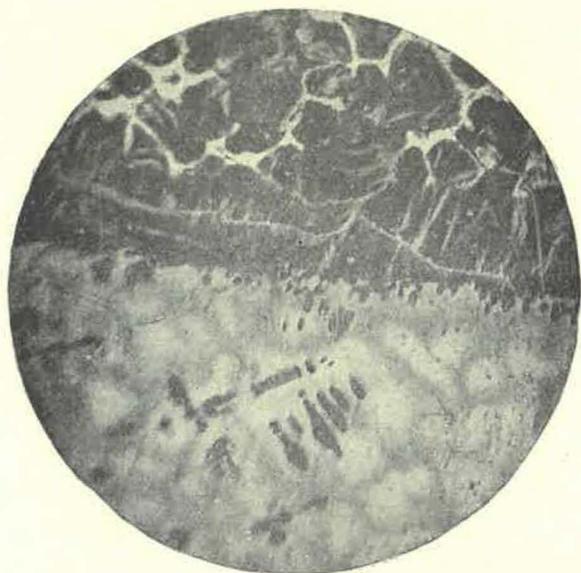


FIG. 6. — Jonction de deux couches d'alliages à 50 0/0 de fer et 50 0/0 de  
 cuivre après fusion avec du charbon de bois,  $V \times 80$ .  
 Attaque par l'acide nitrique. La couche inférieure est l'alliage de cuivre-fer;  
 la couche supérieure est l'alliage de fer-cuivre-carbone.

*Les efforts internes dans le fer et l'acier et leur influence sur la rupture.*

---

M. ARTHUR WINGHAM, F. I. C (Torquay), dans le mémoire qu'il a présenté au Congrès, fait revivre l'ancienne théorie de la cristallisation comme une cause de rupture du fer et de l'acier ; mais il y introduit un grand nombre de modifications et, conformément aux principes modernes, il attribue beaucoup plus d'importance aux efforts naturels internes qu'on ne le faisait autrefois.

Bien que cette théorie soit aujourd'hui généralement abandonnée, les idées de l'auteur n'en sont pas moins dignes d'une sérieuse attention, parce que la constitution intime du fer et des aciers est encore un problème non résolu à l'heure qu'il est, malgré les données sérieuses fournies par la micrographie.

Nous donnerons donc, dans ce qui va suivre, un résumé assez développé du mémoire de M. Wingham.

Ainsi que ce dernier l'écrit, l'objet de cette notice est de contribuer à élucider quelques-uns des mystères relatifs aux allures physiques des métaux en général et du fer et de l'acier en particulier et de faire la lumière sur la cause des ruptures soudaines et imprévues des matériaux employés dans la construction des machines ou dans d'autres usages industriels. Les raisonnements de l'auteur sont basés sur les faits et hypothèses suivants : qu'il y a deux espèces d'équilibre auxquels un métal parvient, l'un physique et l'autre chimique ; que la tendance naturelle d'un métal composé est de prendre les formes les plus simples de combinaison capables d'exister à une température donnée ; que la rapidité du refroidissement, même dans les conditions les plus lentes, est encore trop grande pour permettre d'atteindre cette situation d'équilibre ; que l'équilibre est, dans la suite et à diverses reprises, troublé par des changements dans les conditions atmosphériques ou autres ; que l'accommodation à l'équilibre physique tend à favoriser celle à l'équilibre chimique ; que l'accommodation qui a été favorisée par de légères élévations de température l'est également par le refroidissement ; et que l'eutectique est le milieu à travers lequel le changement physique ou chimique se produit.

On admet maintenant que, dans l'acte de la cristallisation, les molécules d'une substance donnée affectent un certain volume et se disposent en contact intime avec d'autres, de manière à former un cristal dont le volume répond à la plus petite particule qui puisse exister séparément, les cristaux ainsi formés se groupant ensuite entre eux pour en former de plus grands. Plus le procédé de cristallisation sera lent et prolongé, plus les petits cristaux se grouperont eux-mêmes en formation serrée. En d'autres termes, plus une substance se refroidira lentement, qu'elle soit un métal solidifié ou une solution saline, plus les cristaux résultants seront grands. L'accroissement des cristaux se poursuit aux températures normales, ce qui est dû au groupement continu et au dépôt de menus cristaux en contact intime, et produit un cristal encore plus grand, exactement de même forme par rapport aux axes et aux faces, mais non pas nécessairement exactement de même figure, puisque les conditions locales peuvent être telles qu'elles gênent le libre développement dans toutes les directions. Par conséquent, une masse donnée de matière cristalline tend à se présenter en cristaux de plus en plus grands et plus compacts; il s'en suit que tout excès d'eutectique séparant les petits cristaux doit, quand ceux-ci sont amenés en contact plus intime avec d'autres, être expulsé dans les canaux plus grands qui séparent les faces des plus grands cristaux. Cette progression peut néanmoins être enrayée par certaines conditions telles que la pression.

Pendant le refroidissement lent, après solidification, d'une pièce d'acier, ses constituants tendront à prendre les formes les plus simples de combinaison chimique qui existent de préférence à la température atmosphérique normale et son caractère cristallin atteindra sa plus grande capacité sous les conditions existantes. Mais, le refroidissement étant plus rapide que l'accommodation à ces conditions, le progrès sera arrêté à un certain développement. En conséquence, dans la condition finale du refroidissement, il existe dans le métal du premier état, une certaine somme d'effort latent à l'accommodation, et l'on peut admettre que cet effort latent constitue une force potentielle disruptive.

Le métal peut, selon toutes les apparences, s'accommoder aux conditions générales de pression, de température, etc., ce qui peut être indiqué par sa structure, mais c'est seulement un état temporaire et l'accommodation naturelle, bien que lente, se poursuivra pendant des années. Conséquemment, le métal tend, d'une façon graduelle et persistante, à devenir plus cristallin et accumule une pression interne

expansive. Ce phénomène est influencé et accentué par d'autres conditions qui seront examinées plus loin. Par suite, nous devons nous attendre à trouver qu'un métal normalement refroidi avec un grand accroissement cristallin devient plus fragile qu'un métal semblablement préparé avec des petits cristaux, parce qu'il est évidemment plus porté à continuer son accroissement après refroidissement et à accumuler de la sorte de la pression interne. Une série de secousses ou un choc vient en aide à la force expansive et le métal se brise le long des plans occupés par les minces couches ou pellicules d'eutectique, en premier lieu de celles qui existent entre les grands cristaux et en second lieu de celles qui existent entre les cristaux plus petits, ou ce que l'on entend par joints de clivage. Etant admis qu'une masse de métal qui est cristalline retient l'eutectique entre les faces du cristal et ne l'expulse pas complètement à la surface extérieure, il est parfaitement admissible qu'un cristal formé lui-même de cristaux se comporte de même, bien que, sans doute, dans un sens plus restreint.

Jusqu'à ce jour, les plans de clivage d'un cristal ont été considérés comme étant le résultat d'un dépôt de couches sur couches ou de feuillets sur feuillets, mais une connaissance plus récente de la question fait rejeter cette manière de voir. Le professeur Ewing et M. Rosenhain ont observé que les cristaux d'une masse de plomb, quand elle est soumise à la compression au-delà de la limite d'élasticité grandissent, non pas par la superposition des surfaces, mais en poussant des bras et des branches laissant entre eux des vides qui sont finalement remplis pour former la face du cristal. On a souvent observé des accroissements en forme de fougères dans d'autres métaux. Un semblable accroissement doit se produire dans un certain milieu et celui-ci peut être constitué par l'eutectique. Dans la formation de ces cristaux, les vides forment les lignes de retraite vers la face achevée et si la cristallisation était arrêtée, ils en retiendraient une notable partie. Ces vides étant les lignes de retraite, doivent également être les lignes d'attaque, et, en cas d'échauffement, il est vraisemblable que l'eutectique attaquerait la face du cristal et pénétrerait dans ces vides. L'inverse se produirait en cas de refroidissement et il est facile de concevoir que si, par suite de pression ou de toute autre cause, les cristaux ne sont pas achevés, le métal devient une masse de cristaux soudés ou cimentés par interpénétration avec l'eutectique. Cela ne donne toutefois pas une explication suffisante de la manière de se comporter des métaux sous le traitement

mécanique, telles que la suppression de la structure cristalline et la production d'une structure plus serrée par martelage, etc., l'interpénétration et la réunion par soudure et forgeage, la faculté de plier, la rupture du métal sous l'effort, etc.

L'effet de la chaleur sur les molécules des constituants d'un métal est d'augmenter leur état vibratoire, et cet effet se continue jusqu'à ce que ces molécules s'unissent en masse, s'attachent, se dissolvent ou se combinent l'une avec l'autre.

L'effet de la compression est de restreindre l'amplitude de la vibration et le résultat est le même, les molécules devenant plus puissantes par le resserrement de leur sphère de vibration normale. Dans le cas d'un métal cristallin, le résultat serait que l'eutectique commencerait à dissoudre les cristaux et les attaquerait par les points de plus récente formation, travaillant dans la direction suivant laquelle la pression s'est le plus fortement fait sentir. Le même phénomène se produirait si l'on élevait la température et l'effet visible d'un traitement prolongé serait la disparition graduelle des contours aigus des grands cristaux. Le professeur Ewing et M. Rosenhain essayèrent d'observer les changements d'état cristallin par l'attaque chimique d'une surface de fer chauffée à une certaine température, mais ils ne purent constater l'altération, bien qu'elle se produisit. En procédant à une nouvelle attaque chimique (*etching*) de la surface, ils purent observer la nouvelle et plus petite structure cristalline dans le champ du cristal primitif dont le contour subsistait encore. Il est possible que les pellicules eutectiques existant sur la face des grands cristaux pénétraient dans les canaux de clivage, d'après le principe précédemment décrit et laissaient à nu les petits cristaux, lesquels, après une seconde attaque chimique, montraient une surface désorganisée en lieu et place de la surface plane uniforme originelle.

Ces expérimentateurs ont trouvé en outre que lorsque deux surfaces propres de plomb sont soudées à froid et recuites après, l'accroissement cristallin ne pénètre pas à travers la ligne de soudure. Mais, en versant un peu d'un métal plus fusible sur les faces avant soudure et répétant l'expérience, ils constatèrent qu'il n'existait plus de ligne marquant le contact des deux masses de plomb et que les cristaux pénétraient de l'une dans l'autre. Ceci semble prouver, jusqu'à un certain point dans ce cas, que l'accroissement cristallin d'un métal dépend d'un eutectique dans lequel les molécules peuvent partiellement se dissoudre et se regrouper.

Il est généralement admis que les eutectiques se contractent par la

solidification, mais, malgré toutes les recherches de l'auteur, ce fait n'a pas été prouvé d'une façon certaine. L'eutectique peut, considéré isolément, occuper moins d'espace qu'il ne le ferait quand les cristaux en sont séparés, et ainsi montrer une contraction, mais, tandis qu'il continuerait à se contracter pendant le refroidissement préalable à la congélation, rien ne prouve que le solide soit de volume moindre que le liquide au moment de la solidification. En fait, il est plus aisé de supposer qu'il occupait au moins le même espace, ou qu'il s'étendait ou essayait de s'étendre. Le bord frangé que l'on rencontre si souvent entre l'eutectique et le cristal semblerait montrer l'influence de la pression. Il s'explique probablement comme étant le résultat de l'interpénétration de l'eutectique et du cristal, et ceci indiquerait une cristallisation incomplète. Jusqu'où l'interpénétration frangée est-elle le résultat de la pression de la pellicule eutectique et jusqu'où la pression sur la pellicule eutectique est-elle le résultat de la cristallisation incomplète, ce sont des points délicats et difficiles à établir. L'eutectique et le cristal travaillent sans doute l'un contre l'autre jusqu'à ce qu'ils atteignent un équilibre correspondant à la pression finale. D'où, dans certains cas, l'intérieur d'un métal peut être comparativement libre de cristallisation, tandis que la partie extérieure peut être largement cristalline. Le D<sup>r</sup> Stansfield et M. Stead ont tous deux rencontré cette condition dans des fontes. Dans d'autres cas, les positions peuvent être renversées, de manière que pendant le refroidissement de l'intérieur, il y ait diminution de pression, quand la structure plus largement cristalline serait à l'intérieur. N'est-il pas probable alors que l'eutectique soit le milieu dans lequel s'effectuent ces changements chimiques et moléculaires?

Si les vues précédentes relatives à l'équilibre chimique et physique sont correctes, il est aisé de concevoir comment les changements et les altérations se produisent dans un métal pendant son existence et d'expliquer quelques-unes des ruptures les plus conséquentes qu'on peut attribuer à une cause aussi faible en apparence. On peut aussi en tirer une explication de nombre de propriétés d'un métal tel que l'acier et des fluctuations de ces propriétés causées par l'introduction de divers éléments et par le traitement thermique. Par exemple, la limite d'élasticité ne peut-elle être le point auquel cesse l'influence eutectique? En réchauffant un acier qui a été soumis à un effort dépassant sa limite d'élasticité, il prend un état auquel correspond un autre point-limite d'élasticité et on peut répéter trois à quatre fois l'expérience, selon la nature de l'acier, chaque point-

limite ainsi obtenu étant plus haut que le précédent. Le recouvrement de l'élasticité se produit lentement par le refroidissement, mais rapidement quand le métal est chauffé, ne fût-ce qu'à une température de 100° C. Ce fait n'est-il pas dû à l'eutectique, sous l'influence d'un effort extérieur ou de la chaleur, favorisant un nouvel arrangement des cristaux et cimentant le tout par interpénétration avec les faces cristallines? S'il en est ainsi, alors on doit s'attendre à ce que la nouvelle limite d'élasticité soit plus élevée que la précédente, parce que le premier effort aura réduit légèrement la pression interne produite par la cristallisation latente ou incomplète et le métal en se réchauffant s'accommodera par rapport aux cristaux et à l'eutectique dans un état cimenté plus complet mais moins serré.

Conséquemment, il faudra une plus forte charge pour que l'élasticité cesse la seconde fois. Ceci peut-être répété jusqu'à ce que la charge correspondant à la limite d'élasticité et la charge de rupture soient pratiquement égales.

Si ce changement chimique ou moléculaire interne latent est réprimé par la pression, il doit être certainement influençable par tout autre cause externe, effort ou changement auquel un métal est soumis. Même au repos, le métal est soumis à l'action de la pesanteur qui est considérable dans une masse de cette nature quand elle appuie sur sa propre base et spécialement si elle est supportée en deux points éloignés. Alors, de nouveau, tout changement de température envoie une onde de détente ou de contraction de l'extérieur vers l'intérieur, chaque onde produisant une secousse dans les molécules, quelque bon conducteur que puisse être le métal. Ajoutez y toute vibration, oscillation, révolution, ou par dessus tout, toute secousse ayant spécialement un caractère d'extension, pendant l'emploi industriel du métal, et l'on comprendra facilement que toute particule de celui-ci est soumise à toutes espèces possibles de torsions et d'efforts provenant de causes extérieures. Dans ces conditions, les molécules, dans leurs vibrations, ont fréquemment l'occasion d'entrer en lutte avec l'eutectique en produisant des changements physiques et chimiques avec des arrangements et des accommodements nouveaux de toutes espèces. De tels changements se produisent sous l'influence de la chaleur et de la fusion, et il est aisé de comprendre qu'ils se produisent constamment, bien que lentement, aux températures ordinaires. A chaque degré de température correspond un certain état d'équilibre dans tous les métaux, simples ou complexes, et c'est seulement une question de température et de

constituants qui décide de la rapidité avec laquelle cette accommodation se produit. Plus la température est élevée, plus l'accommodation est rapide; plus les constituants sont mobiles ou peut-être l'eutectique, plus prompte est la nouvelle accommodation moléculaire.

### Influence des efforts sur la cristallisation.

On peut se demander si un effort qui tend à réduire la pression interne aide la cristallisation. L'auteur soutient que cela a lieu à toutes les températures et de nombreux exemples pourraient être donnés de métaux devenant cristallins et brisants par l'usage. Il croit ne devoir citer qu'un exemple, celui des chaînes d'acier raccordant le câble d'extraction à une cage de mine. Ces chaînes deviennent rapidement cassantes et dangereuses et il n'y a guère de doute que cela ne soit dû à la répétition de l'effort de traction, aidé peut-être, dans une certaine mesure, par les petites différences de température qu'elles éprouvent entre le fond et la surface du puits. Il paraîtrait, conséquemment, qu'une forme de fragilité dépend en grande partie de l'achèvement des faces cristallines, ou, en d'autres termes, de la séparation du cristal d'avec l'eutectique. La non-existence d'un état d'interpénétration diminuerait la forte liaison ou cimentation des cristaux l'un à l'autre par l'intermédiaire de l'eutectique. Le réchauffement de ces chaînes fait disparaître la structure hautement cristalline résultant d'une attaque récente par l'eutectique sur les faces achevées des cristaux, et donne lieu à la reformation de grains fins convenablement cimentés entre eux. Il est ainsi possible d'expliquer comment un métal travaillant dans des conditions parfaitement normales et bien au dessous de sa force de résistance primitive peut graduellement subir une altération avec augmentation de la pression interne potentielle jusqu'à ce que enfin il se brise soudainement ou tout au moins qu'il s'y produise une fissure, symptôme précurseur d'une rupture.

Il a été démontré qu'une élévation de température de quelques degrés accélère grandement l'accommodation à l'équilibre, et l'on connaît des changements rapides qui se produisent sous la chaleur de la vapeur. Ce point soulève une question d'une grande importance pratique. Un métal parfaitement sain et travaillant dans des conditions notablement inférieures à celles que permet sa résistance aux températures normales peut, en quelques heures, devenir absolument impropre à l'usage, s'il est soumis à la chaleur de la vapeur en

même temps qu'à des oscillations ou vibrations et tout particulièrement si quelque partie travaillante éprouve des secousses.

Cette considération est fréquemment perdue de vue dans la préparation du métal pour l'usage à une température différente des températures normales. La tendance est de fournir une pièce de métal aussi légère que possible pour la construction, avec la moindre marge possible par rapport à la résistance trouvée à l'essai et garantie au moment de la fabrication. Le métal est durci ou recuit en partant de ce point de vue et la fourniture est faite pour l'effort exceptionnel à supporter et en vue de l'usure mécanique, tout le contrat supposant que le métal restera constant dans son état chimique et moléculaire; mais il n'est tenu aucun compte de la diminution de sa résistance due au changement d'état par suite de l'action de l'eutectique combinée avec les nombreux efforts internes et externes, naturels et artificiels auxquels le métal sera soumis. Quand il s'agit d'une machinerie légère et d'un travail de peu de durée, la question de la diminution de résistance du métal a peu d'importance; elle en a au contraire beaucoup avec un matériel pesant et une machinerie qui ont à supporter l'épreuve prolongée du temps. Cela est d'autant plus vrai que plus la masse est grande, plus il est difficile d'obtenir de l'uniformité et conséquemment plus le métal est sujet à des efforts internes qui sont encore accentués par de puissants efforts externes et qui, combinés, favorisent les changements de constitution intime. En pratique, on tient compte de cette circonstance en supprimant aussi complètement que possible toute masse superflue de métal.

#### **Effort interne dans les moulages.**

Dans les pièces coulées, il existe une autre cause d'effort interne qui est d'une grande importance quand il s'agit de grandes masses, mais qui est pratiquement nulle dans les petites. Dans une pièce de ce genre, le métal se solidifie de l'extérieur vers le centre et, avec le temps, les parties intérieures s'étant solidifiées, l'extérieur a pris un état de rigidité tel qu'il ne s'accommode pas promptement à la contraction du métal intérieur. Le mal s'accroît quand la température baisse. Conséquemment, l'intérieur est dans un état de tension qui n'a été que partiellement réduit par la retassure dans la première période et par la formation de cavités de contraction et le développement de la structure cristalline.

Dans une petite pièce de moulage, l'effort de contraction peut ne

pas être apparent. Dans une forte pièce, au contraire, les nombreuses fissures axiales et les criques témoignent du fait, tandis que la structure centrale cristalline témoigne d'une réduction de pression qui a produit la cristallisation. Nous avons ainsi une masse solidifiée et refroidie de métal dont pas un atome n'a été solidifié ni refroidi sous les conditions naturellement avantageuses pour produire un état de stabilité normale; chaque grain est plus ou moins en relation forcée avec ses voisins, de sorte que toute vibration détermine un effort de réaccommodation à travers la masse. Quand la température baisse, la différence entre l'extérieur et l'intérieur du métal diminue, mais la difficulté à l'accommodation est plus grande et le métal doit se rompre ou se fissurer pour donner lieu à une réduction de pression. Les relations forcées sous les conditions normales disparaîtront dans la cristallisation à travers le milieu des pellicules eutectiques. Le traitement mécanique les anéantit, surtout s'il est alterné avec des recuits, mais il n'est pas aisé de dire à quel point les efforts primitifs de moulage sont entièrement éliminés. Si le traitement énergique produit une interpénétration et une combinaison partielle de l'eutectique et des cristaux et si le recuit relâche la cohésion jusqu'à un état de flexibilité, alors les vraies conditions pour qu'un métal acquière de l'élasticité et de la résistance sont atteintes, particulièrement si ces opérations sont effectuées à des températures aussi basses qu'il est possible de le faire. Ceci nous amène en plein dans la question des théories de traitement thermique, ce qui est étranger à l'objet de ce mémoire, mais l'auteur est d'avis que les eutectiques et leur formation jouent un rôle très important par la production d'effets qui sont attribués par quelques personnes à l'allotropie et par d'autres à la solubilité des carbures dans le fer.

#### Questions essentielles de durabilité et de stabilité.

Si cette manière de voir est admise, il est manifeste qu'un métal, pour posséder la durabilité et la stabilité, devrait contenir des constituants qui ne se prêtent pas à une cristallisation ultérieure. La ségrégation, par conséquent, serait soigneusement reconnue dans l'essai d'un métal destiné à durer des années ou à être soumis à des températures élevées et variables. Les essais mécaniques à froid de la pièce sont insuffisants par eux-mêmes et ils devraient être combinés et effectués de manière à obtenir quelques indications sur la conduite du métal dans les conditions d'usage prévues. Deux métaux

peuvent donner également de bons essais et paraître pratiquement de qualité identique; néanmoins une tendance à former des cristaux dans l'un plus rapidement que dans l'autre peut les rendre complètement inégaux par rapport à leur durée. Sous ce rapport, la mobilité ou la fluidité de l'eutectique doit avoir une grande influence. Comme cette qualité est grandement influencée par les petites quantités et par le nombre des impuretés et des constituants additionnés, il en résulte que l'influence totale de ces corps agissant ensemble est de la plus haute importance. Ce que sont les eutectiques d'un métal compliqué comme l'acier, il est difficile de le dire, mais, dans les limites de température comprises entre 0° et 1,000° C, il y en a probablement beaucoup, chacun ayant son action dissolvante spéciale et devenant d'une nature plus complexe à mesure que la température s'élève. Ainsi, un acier, en se refroidissant, peut cristalliser partiellement hors d'un eutectique à haute température de corps complexes, lequel, à un point donné, peut se séparer en ses constituants avec évolution de chaleur, l'un ou l'autre desquels, à de plus basses températures changerait probablement de forme, et, en partie, avec des constituants cristallisables d'un caractère plus simple, produisant encore des eutectiques d'un ordre inférieur. Ceux-ci, de nouveau, se dissocieraient jusqu'à ce que la forme la plus inférieure et la plus simple d'eutectique fût atteinte. L'inverse se produirait par l'échauffement, avec la production, à une température plus élevée, d'une série de composés, dont le plus haut serait d'une nature plus complexe. Celui-ci, s'il se refroidissait subitement, n'aurait pas le temps de se séparer en ses divers éléments et on obtiendrait conséquemment un métal composé totalement distinct dans ses propriétés de dureté. Il peut contenir du fer durcissant ou du carbone durcissant, mais pourquoi ne peut-il contenir un mélange complexe dur lui-même? L'effet du recuit serait de permettre à la séparation des éléments naturels de se produire, partiellement ou totalement, suivant la température et la durée du recuit. L'effet du *revenu* (1) serait de permettre une mise suffisante en liberté de l'eutectique, ou une accommodation naturelle, pour produire une action enveloppante sur les particules dures restantes, de sorte que la fragilité résultant de l'absence d'un agent cimentant serait disparue, tandis que la dureté ne serait pas entièrement détruite, le résultat étant un métal dur dont les particules sont intimement liées ou cimentées par une petite trace d'un métal plus

---

(1) Le *revenu* (Ang. *annealing*) est le *recuit* des aciers trempés.

doux qui lui communique de la résistance et de l'élasticité. S'il en est ainsi, il est clair qu'un si petit pourcentage d'impuretés peut avoir un effet aussi grand sur les propriétés d'un métal, puisqu'il a une influence sur la fluidité, la mobilité ou la plasticité des constituants avec lesquels il entre en combinaison. On peut aussi expliquer pourquoi le surchauffement d'un métal est quelquefois aussi désavantageux qu'un échauffement insuffisant.

Il est probable que l'eutectique et son influence devront être pris en sérieuse considération dans les recherches métallurgiques de l'avenir, non seulement en ce qui concerne le fer et l'acier, mais aussi en ce qui concerne le travail mécanique de tous les métaux. En même temps, l'application de cette influence à de nouvelles investigations peut, dans beaucoup de cas, contribuer à faire la lumière sur des difficultés jusqu'ici inexplicables.

### **Le métal idéal pour la longévité industrielle.**

Le métal idéal au point de vue de la longévité industrielle serait d'abord celui qui contiendrait une quantité petite mais suffisante des constituants qui formeraient avec lui un eutectique ayant un point de solidification non fort éloigné de celui des métaux qui s'en séparent. Cet eutectique ne doit pas être trop mobile ni trop plastique, de sorte que les cristaux formés en premier lieu, et conséquemment petits, pendant le refroidissement, soit de l'état liquide ou solide, peuvent être rapidement suivis par la solidification ou le durcissement de l'eutectique et la cimentation avec ce dernier. De cette façon on obtiendrait un métal de texture à grains fins.

Ce résultat serait cependant atteint avec la quantité minima d'eutectique.

Les fins cristaux seraient enveloppés et cimentés ensemble par des pellicules d'eutectique, dans lesquelles ils seraient incapables de s'arranger eux-mêmes sous forme de grands cristaux. Ils formeraient alors une masse capable d'être livrée à un usage industriel important sans altération ni dépréciation.

Cet aspect de la question fournit une explication de l'action de certains métaux, tels que le nickel, etc., qui donnent une haute limite d'élasticité et une grande résistance à l'acier.

Le nickel, moins fusible, produit un eutectique à point de fusion élevé, qui se solidifie et se durcit aussitôt après la séparation des petits cristaux d'acier ou d'acier au nickel quels qu'ils puissent être

et lie le tout fermement ensemble et empêche, par le manque de mobilité, les changements ou accommodations de se produire dans la suite dans la masse par la continuation du refroidissement et conséquemment par l'usage. C'est par l'emploi de tels métaux avec des eutectiques à haut point de fusion que nous devons chercher le futur développement de l'acier pour les usages industriels fatigants et prolongés.

Il est manifeste que les métalloïdes et d'autres corps ne devraient être retenus qu'à leur plus basse limite possible, de manière à ne pas produire d'eutectique superflu, parce que cet eutectique, non seulement affaiblit le métal dans sa condition première, toutes autres choses égales d'ailleurs, mais nuit à la stabilité de celui-ci dans son emploi industriel. Il facilite la réaccommodation à la forme cristalline et de là rend le métal moins durable sous les conditions ordinaires d'usure. Ce fait a été démontré avec les aciers ordinaires et a conduit à donner à un acier doux la préférence sur l'acier à haute teneur en carbone, partout où le premier peut être adopté.

L'acier doux est plus régulier en moulage, avec moins de séparation de l'eutectique, et, pendant le forgeage ou tout autre traitement mécanique, il est plus stable dans la manière de se comporter. Il y a peu ou pas de séparation de l'eutectique, ou ségrégation, et le produit fini est constant en composition. Un acier qui montre de la ségrégation pendant le traitement mécanique ne devrait jamais être employé pour quelque usage requérant la durée sous un effort vibratoire, parce que la ségrégation montre que le métal contient une quantité anormale d'eutectique ou même un eutectique doux ou plastique qui favorise la cristallisation et la séparation.

S'il a cette tendance pendant qu'il est chaud, il l'aura encore, quoiqu'à un moindre degré quand il sera froid, et il la développera tôt ou tard selon les conditions d'emploi.

On peut admettre que plus bas est le point de fusion du constituant étranger formant l'eutectique avec le métal, plus bas est aussi le point de fusion de cet eutectique; qu'en outre, plus le constituant étranger est complexe, ou, en d'autres termes, plus est grand dans le métal le nombre d'éléments étrangers, plus bas encore sera le point de fusion. Alors, encore, plus le point de fusion est bas (et par ceci il faut entendre le point de ramollissement de l'eutectique par rapport au point de fusion du métal principal), plus ce métal sera rendu grandement cristallin et fragile. L'effet sur le fer du phosphore à basse température de fusion contraste sous ce rapport avec celui du silicium à haute

température de fusion. L'eutectique ne serait pas trop nuisible dans les cas où un métal aurait à supporter un fort ou rapide traitement mécanique, parce qu'alors la fracture se produirait vraisemblablement par manque de rapidité d'accommodation. Aussi est-il convenable d'avoir une petite quantité de phosphore présent pour produire un eutectique plastique et ainsi faciliter l'accommodation à un traitement mécanique énergique. D'autre part, un tel eutectique favoriserait une cristallisation ultérieure du métal par le refroidissement. Ceci est rendu évident dans les aciers phosphoreux où la cristallisation par refroidissement relâche l'eutectique mou et la pression ainsi produite expulse une partie de celui-ci directement jusqu'à la surface extérieure. Il est probable que l'action dissolvante ou combinante de l'eutectique sous l'influence de la pression ou de la chaleur doit être considérée comme le facteur déterminant dans le traitement mécanique et dans la manière de se comporter des métaux.

#### **Un équilibre parfait ne peut être atteint.**

Une chose est tout à fait certaine, c'est qu'un métal lutte toujours pour s'accommoder aux conditions variables extérieures, tout au moins aux changements dans la température atmosphérique, même en l'absence de toute autre cause. Comme les variations sont rapides et les accommodations lentes, un équilibre parfait n'est jamais atteint et un nouveau changement dans l'arrangement de ses molécules tend toujours à se produire avec des influences variant vivement. Il est manifeste que toute force interne sera favorisée par cette incessante activité moléculaire et essaiera de s'adapter à des conditions plus favorables. Conséquemment un métal subit constamment des efforts internes et des changements, et il est probable qu'il s'y crée ainsi une altération interne sans le moindre signe extérieur. Le premier symptôme est, soit une rupture soudaine, soit une fissure qui peut être ou non aperçue avant la rupture. La grande majorité des défauts des machines sont sans doute dus à l'action de semblables efforts et changements internes.

Le sujet est tout à la fois d'intérêt scientifique et d'importance pratique. Il est de grande importance pratique dans le cas de constructions appelées permanentes, spécialement lorsque ces constructions sont pesantes et sujettes à des vibrations ou à des chocs. En pareil cas, le plus grand changement ou altération se produira

aux points où le choc se produit. Conséquemment un acier de construction fort et dur, actuellement dans les limites de la spécification, peut, dans le cours d'un petit nombre d'années, développer quelques-unes des propriétés que l'on rencontre plus généralement dans la fonte.

Le plus récent exemple de ce fait est l'accident du pont de Brooklyn. Il paraît avoir été causé par la rupture des tringles de suspension verticale du tablier aux câbles. Les tringles présentaient sans doute une marge considérable de résistance en prévision d'un trafic lourd et intense et il est difficilement admissible que les ruptures aient été causées par un trafic exceptionnel seul. Il est plus probable que la vibration répétée et la diminution de la pression interne par le persistant effort de tension a accéléré une tendance excessive du métal à cristalliser et a ainsi réduit sa ténacité. La stabilité interne de l'acier destiné aux constructions est manifestement digne d'une sérieuse considération quand, par un choix judicieux du meilleur métal à mettre en œuvre au point de vue de la durée, on peut prévenir la rupture relativement prématurée d'un aussi important ouvrage d'art.

Nous croyons utile de compléter cette note en faisant connaître l'opinion, contraire à celle de l'auteur, émise par un autre métallurgiste éminent. Nous résumerons à cette fin les idées émises par Ledebur, dans son *Manuel de métallurgie*, sur l'influence des ébranlements répétés (t. II, p. 232). L'auteur rappelle d'abord que l'on a prétendu autrefois que le fer soumis à des vibrations pendant longtemps éprouvait dans sa texture une transformation ayant pour objet de diminuer sa résistance et sa ténacité. Le fer nerveux tenace se changerait graduellement en fer à grains cassant, comme s'il était chauffé à une température voisine de la fusion; l'on attribuait à cette cause la rupture des pièces en service depuis très longtemps. Cette opinion parut confirmée par les essais de Woehler qui datent de 1870 et avaient conduit leur auteur à la loi suivante :

« La rupture d'un corps peut être obtenue en le soumettant un » assez grand nombre de fois à des actions mécaniques qui sont loin » d'atteindre la limite de résistance qui le caractérise. »

Des recherches plus récentes, continue Ledebur, ont montré que ces actions devraient dépasser une certaine valeur et qu'elles ne produisent pas de changement d'état ou de texture du métal.

Rappelant que l'aspect du métal dans la cassure dépend du moyen employé pour obtenir celle-ci et qu'un fer nerveux brisé brusquement sans flexion peut présenter une cassure à grains, il fait remarquer que ce sont précisément des ruptures par efforts brusques qui ont fait croire à une transformation de la texture du métal. *L'on a donc simplement pris l'effet pour la cause.*

Ledebur donne ensuite les résultats des essais de Bauschinger et de Bebelusky, respectivement en 1878 et en 1888, faits sur des maillons de chaînes de ponts en service depuis 25, 40 et 49 ans; on a comparé ces maillons à d'autres de même âge restés en magasin et à des maillons neufs.

Tous les échantillons essayés étaient restés nerveux et avaient conservé leurs propriétés mécaniques. Après des essais de laboratoire sur des barres de fer ou d'acier, Bauschinger a enfin formulé la conclusion suivante : « La structure du fer et de l'acier n'éprouve aucun » changement par suite d'ébranlements répétés fréquemment, même » plusieurs millions de fois. »

---

*Des variations de la teneur en carbone et en phosphore  
dans les lingots d'acier.*

(Communication de M. AXEL WALHBERG de Stockholm )

---

Il est bien connu de tous les métallurgistes que, depuis l'introduction sur une grande échelle, des procédés Bessemer et sur sole, il a été impossible d'obtenir des lingots d'une composition chimique parfaitement homogène, le manque d'homogénéité étant dû au phénomène de ségrégation qui s'accomplit pendant la solidification graduelle de la masse fondue dans les lingotières.

Cette ségrégation se rencontre dans deux cas distincts. D'abord, dans les conditions normales, spécialement si la température de coulée a été modérée, les alliages dont le point de fusion est le plus élevé se solidifient plus promptement ; en d'autres termes, les parties extérieures du lingot, particulièrement celles situées vers l'extrémité la plus basse, deviennent plus pauvres en carbone, silicium, manganèse, phosphore, etc., ce qui est dû à la concentration graduelle du volume de ces matières vers l'intérieur et vers le haut. La concentration est la plus prononcée dans le centre même de la moitié supérieure du lingot. Le résultat final montre ainsi un changement graduel dans la composition chimique. De plus, en d'autres cas, si la coulée se pratique à une très haute température et si les lingotières sont d'assez grandes dimensions, deux circonstances qui contribuent à produire un refroidissement lent, il arrive fréquemment, indépendamment d'une tendance plus marquée à la ségrégation, qu'il se forme des conglomérations d'une composition chimique complètement distincte de la matière environnante et, exceptionnellement, en grande quantité.

Ces conglomérations, qui sont généralement plus accentuées dans les aciers à haute teneur en carbone, amènent souvent une sérieuse diminution de la qualité dans le cas où le métal est destiné à des usages manufacturiers, bien que de semblables irrégularités, qui peuvent être attribuées à l'un ou l'autre mode de ségrégation, soient sans doute beaucoup modifiées ou même pratiquement détruites

pendant le traitement ultérieur, ce qui est principalement dû au réchauffage répété de la pièce.

Chaque consommateur d'acier est toujours désireux d'obtenir un produit d'une homogénéité aussi grande que possible par rapport à sa composition chimique. Comme conséquence, on rencontre chez les fabricants une tendance à s'accommoder, autant que possible, avec les exigences du consommateur. Mais dans la suite des temps, ces exigences ont constamment grandi, jusqu'à devenir excessives. Ce résultat peut être attribué en partie au progrès moderne, spécialement en ce qui concerne les méthodes de production perfectionnées, en partie aussi et peut être principalement, à la faute des producteurs eux-mêmes qui, sacrifiant à la concurrence du jour, sont parfois amenés à accepter des conditions, même absurdes, dans le seul but de s'assurer un contrat de fourniture.

C'est cet état de choses qui a donné lieu aux recherches décrites par l'auteur, recherches entreprises avec le concours financier du Conseil des directeurs du *Jernkontor* (Comptoir du fer) (1) et que ce dernier a voulu soumettre au Congrès pour donner plus d'autorité aux décisions proposées.

L'auteur fait d'abord connaître le programme des recherches. Il s'agissait d'établir :

1° Quelles sont les limites de variation du carbone et du phosphore rencontrés dans les aciers doux, demi-durs et très durs qui ont été coulés à une température normale, en lingots de 10 à 12 pouces, et ensuite laminés en billettes de 4 pouces, soit directement, soit après un refroidissement et un réchauffage ;

2° Si, et dans quelle mesure, les analyses chimiques d'échantillons absolument identiques, donnent des résultats différents en ce qui concerne le pourcentage du carbone et du phosphore quand elles sont effectuées par des chimistes différents.

La matière nécessaire était fournie par quatre aciéries différentes et consistait en trois lingots de 10 à 12 pouces, de chaque usine, contenant respectivement de 0.10 à 0.20 %, 0.50 à 0.60 % et 1.0 à 1.20 % de carbone.

---

(1) Voir au sujet de cette puissante association, l'article de M. PONTIÈRE sur la sidérurgie en Suède. *Annales des Mines de Belgique*, t. IV, pp. 39 et suiv.

Les lingots ainsi obtenus furent ensuite laminés en présence de l'auteur, en billettes de 4 pouces carrés, de chacune desquelles deux plaques furent coupées transversalement en vue de l'analyse, l'une vers le sommet et l'autre vers la base du lingot primitif, à une distance de 4 1/2 à 5 pouces de l'extrémité inférieure de la billette et à une distance de 5 à 5 1/2 pouces de la surface supérieure du lingot. Cette précaution était d'autant plus nécessaire que la température de fusion avait généralement été modérée.

De chaque plaque furent prélevés au moins trois échantillons pour l'analyse: l'un, provenant du centre de la billette au moyen d'un foret de 3/4 pouce appliqué verticalement sur la surface unie de la plaque; un autre, de plusieurs petits trous percés sur le bord extérieur aussi près que possible de la surface et un troisième, de trous semblables percés en rond à une distance égale à environ la moitié de la distance du centre au bord extérieur. L'analyse d'échantillons prélevés de cette façon permettait de s'assurer de la variation de la composition chimique de l'extérieur vers le centre.

L'auteur fait ensuite connaître les précautions prises pour le forage des échantillons.

Dans le but de s'assurer dans quelles limites les résultats obtenus par différents chimistes analysant absolument les mêmes échantillons pouvaient différer, l'auteur se mit en rapport avec plusieurs spécialistes distingués, non seulement en Suède, mais encore dans des pays étrangers. En Angleterre, il reçut la collaboration de M. J.-E. Stead, mais ne put en obtenir en Allemagne. Un meilleur accueil fut fait à sa demande en Autriche, par le baron Jüptner von Jonstorff, de Donawitz. En Suède, toutes les diverses séries de déterminations analytiques furent effectuées à l'Institut d'essais de la Haute Ecole royale technique, à Stockholm. Deux séries de déterminations de carbone furent faites en même temps que deux déterminations du phosphore au laboratoire Hammarström, à Kopparberg.

Les résultats des analyses sont consignés dans plusieurs tableaux.

L'examen de ces derniers montre les écarts dans les teneurs trouvées. Un fait d'une certaine importance mérite d'être mentionné spécialement, parce qu'il est en opposition avec ce que l'on attendait; il consiste en ce que les variations en carbone et phosphore apparaissent d'une manière plus prononcée dans le cas d'un acier doux que d'un acier dur.

L'un des tableaux donne les résultats moyens des valeurs se rapportant aux parties supérieures et inférieures des lingots, arrangés

de manière à montrer la variation graduelle du pourcentage du carbone et du phosphore de la surface vers l'axe du lingot, tandis que les valeurs correspondantes données dans un autre tableau montrent la variation de la composition chimique qui existe aux parties supérieures et inférieures des lingots.

Tandis que la règle mentionnée ci-dessus relative à la composition chimique des lingots s'est trouvée en général vérifiée par les résultats donnés, la variation apparaît plus ou moins accentuée suivant les cas et en raison des principales causes ci-après :

a) La température de moulage, attendu que les lingots coulés à une basse température deviennent plus homogènes que ceux coulés à une haute température ;

b) Le choix des lingotières, attendu que dans les circonstances identiques, un métal plus homogène est obtenu en employant de petites au lieu de grandes lingotières ;

c) La teneur en carbone, attendu que la composition chimique devient plus uniforme avec des pourcentages croissants de carbone.

Il ressort d'un tableau que, dans les aciers doux, demi-durs et très durs, le pourcentage en carbone est moindre dans les parties extérieures des lingots que dans les parties correspondantes du centre, de 21.0, 2.9 et 0.9 % respectivement. Quant au pourcentage en phosphore, les résultats correspondants seront de 50.0, 14.7 et 11.0 % respectivement. Des résultats complètement analogues sont obtenus en comparant les parties du sommet et de la base des lingots, le pourcentage de carbone dans les parties de la base étant, par rapport à celles du sommet inférieur, dans les rapports de 17.6, 5.4 et 0.5 % respectivement, tandis que les rapports correspondants quant au pourcentage du phosphore sont de 25.0, 9.1 et 6.1 % respectivement.

d) La méthode de moulage des lingots avec chapeaux, qui paraît favoriser essentiellement l'homogénéité de la composition chimique. On trouve également que les variations en phosphore sont beaucoup plus considérables que celles en carbone.

L'auteur examine ensuite les résultats comparatifs, dans le cas d'échantillons identiques obtenus dans les différents laboratoires.

Comme il a été mentionné ci-dessus, un des principaux problèmes à résoudre par la présente recherche était de déterminer à quel point les analyses d'une même substance, effectuées dans différents laboratoires, pouvaient concorder entr'elles. La question doit être non seulement considérée d'un point de vue purement scientifique, mais elle

doit l'être aussi en tenant compte des exigences de la pratique. L'auteur n'a pas l'intention de critiquer les résultats obtenus par les différents chimistes, mais de montrer les écarts auxquels conduisent les diverses méthodes par eux employées. Il espère attirer l'attention de tous ceux qui s'intéressent à l'industrie du fer et de l'acier, sur l'urgente nécessité de formuler des méthodes d'essais plus uniformes qui peuvent recevoir une agrégation internationale, de manière à prémunir contre les risques auxquels sont exposés actuellement les producteurs de fer et d'acier, bien qu'aucune faute ne puisse leur être reprochée.

Les différentes méthodes ne paraissent pas donner des écarts de même ordre dans les divers cas. Ainsi la méthode reposant sur la combustion du carbone employée à l'École technique supérieure de Stockholm, dans les cas d'aciers doux ou demi-durs, donnait des résultats inférieurs à ceux obtenus dans les autres laboratoires, tandis que le contraire se produisait avec les aciers à haute teneur en carbone.

Dans le cas de faibles teneurs en carbone, les valeurs des déterminations par combustion du baron Jüptner ont été trouvées être de 40 % supérieures à celles obtenues par M. Stead et à l'Institut d'essais de Stockholm, ces dernières étant à peu près les mêmes, tandis qu'elles sont inférieures d'environ 2 % dans le cas d'aciers durs. Les mêmes remarques s'appliquent à la valeur des déterminations calorimétriques respectives.

En ce qui concerne les teneurs moyennes en phosphore, les valeurs obtenues par M. Stead et par l'Institut royal de Stockholm sont à peu près identiques, tandis que celles des autres laboratoires sont quelque peu plus élevées.

L'auteur conclut comme suit :

Des résultats des recherches en question, il résulte qu'il ne peut y avoir de doute que les contrats de fournitures spécifiant une marge trop étroite, en ce qui concerne le pourcentage du carbone et du phosphore, doivent toujours être considérés comme comportant des risques plus ou moins sérieux.

On ne doit pas oublier, néanmoins, que les défauts les plus visibles dans l'homogénéité ont été rencontrés dans la section transversale des lingots, ou entre la surface extérieure et l'axe, tandis que, comme il est bien connu, ces défauts sont de nature à être essentiellement modifiés ou même pratiquement annulés, si le traitement subséquent

comporte des réchauffages répétés. Il convient de rappeler également que, si ces irrégularités sont possibles, elles ne sont pas absolument évidentes à l'essai, comme, par exemple, quand on analyse de l'acier laminé en barres de 2 pouces carrés, desquelles les échantillons ont été prélevés, soit par forage, soit par limage à travers la matière.

En ce qui concerne la diversité de composition chimique au sommet et à la base des lingots, l'écart se maintiendra indépendamment de tout traitement ultérieur, ce qui est un fait que l'on devra toujours prendre en considération.

Des résultats analytiques notablement différents peuvent être obtenus par des chimistes différents, circonstance qu'il convient de ne pas perdre de vue lors de la conclusion de contrat, jusqu'à ce que des méthodes analytiques donnant une complète satisfaction puissent être fixées et reconnues par une convention internationale.

L'auteur formule conséquemment les vœux ci-après :

1° Aussitôt que possible, une méthode analytique internationale sera arrêtée ;

2° Dans les spécifications, la limite de variation du pourcentage de carbone ne sera pas inférieure à 0.05 %, au-delà de celle qui aura été stipulée ;

3° La limite de variation en phosphore ne dépassera pas de 0.005 celle qui a été stipulée.

---

A la suite de la lecture de ce travail, M. STEAD proposa que les quatre chimistes renseignés par M. Wahlberg, analysassent quatre échantillons absolument identiques et que les méthodes qui donneraient les résultats les plus concordants fussent publiées en vue de leur adoption.

M. F.-W. PAUL fit remarquer que les résultats des chimistes sont plus concordants et plus sûrs quand les échantillons sont constitués par une baguette de 2 pouces de diamètre au lieu de l'être par des rognures de forage. Il signala, en outre, que les analyses ne renseignent pas la teneur en silicium dans les différentes qualités d'acier ; ce à quoi l'auteur répondit qu'il n'avait pas eu le temps d'examiner ce point, ayant dû faire 600 analyses depuis le 15 juin 1901 jusqu'à l'ouverture du Congrès ; d'ailleurs il s'agissait d'acier ordinaire suédois à très faible teneur en silicium.

---

*Méthode Brinell pour déterminer  
la dureté et les autres propriétés du fer et de l'acier.*

---

Le mémoire en question, également présenté par M. AXEL WAHLBERG, fait suite à une notice publiée par le même auteur dans le *Journal de l'Institut du fer et l'acier* (1901, n° I, pp. 243 à 298). Il comprend 40 pages et est accompagné de nombreuses planches. Nous ne pouvons en donner ici qu'un résumé.

I

*Influence des différents modes de recuit et de trempe sur  
les propriétés de tension du fer et de l'acier déterminées au moyen  
d'essais de tension.*

En 1897, Brinell se livra à des recherches étendues dans le but de déterminer l'influence des différents modes de recuit et de trempe sur les propriétés malléables du fer et de l'acier appréciées au moyen des essais à la traction.

Les résultats de ces recherches furent exposés dans la section des usines Fagersta, de l'Exposition Scandinave, tenue en la dite année à Stockholm. Mais cette série d'essais était incomplète, par exemple en ce qui concerne la diversité des modes de traitement préalable, de même en ce qui concerne la composition chimique, parallèlement auxquelles les propriétés élastiques des matières n'étaient pas déterminées. Brinell entreprit des recherches nouvelles, et les résultats de celles-ci figurèrent à la dernière Exposition de Paris, par les soins des usines précitées.

Les matières essayées dans cette nouvelle série d'expériences consistaient en treize sortes d'acier, variant beaucoup en composition, chacune desquelles était soumise à trente et un modes différents de traitement, avant les essais finaux de tension, les éprouvettes étant de mêmes formes et dimensions, c'est-à-dire, des barres rondes de 18<sup>m/m</sup> de diamètre. Le nombre total d'essais de tension

était ainsi de  $13 \times 31 = 403$ , sans tenir compte des essais supplémentaires nécessités dans un grand nombre de cas, comme, par exemple, dans celui d'acier contenant un pourcentage de carbone quelque peu élevé, vu que les barres éprouvettes d'un tel acier sont très aisément déformées quand elles sont trempées et sont ainsi sujettes à se briser à un des bouts si elles sont essayées sans un recuit préalable.

Toutes les opérations du traitement préalable ont été effectuées aux usines Fagersta, et les essais de tension au laboratoire pour l'essai des matériaux de l'École Royale technique supérieure, à Stockholm.

#### A. — Programme du traitement préalable.

Les différents modes de traitement auxquels les matières respectives ont été soumises sont indiqués dans le tableau ci après :

I. — Laminé à chaud sans aucun traitement ultérieur.

II. — Recuit, avec refroidissement lent subséquent, aux températures suivantes :

a)	350° C.
b)	750° C.
c)	850° C.
d)	1,000° C.
e)	1,100° C.
f)	1,200° C.

III. — Trempé dans l'eau à une température de  $+ 20^{\circ}$  C. :

a) Chauffé, préalablement à la trempe, à  $750^{\circ}$  C. :

1. Sans recuit subséquent ;
2. Recuit à  $350^{\circ}$  C.
3. Id.  $550^{\circ}$  C.
4. Id.  $650^{\circ}$  C.

b) Chauffé, préalablement à la trempe, à  $850^{\circ}$  C. :

- 1, 2, 3 et 4 comme ci-dessus ;

c) Chauffé, préalablement à la trempe, à  $1,000^{\circ}$  C. :

- 1, 2, 3 et 4 comme ci-dessus.

IV. — Trempé dans l'huile à une température de  $+ 80^{\circ}$  C. :

a) Chauffé, préalablement à la trempe, à  $750^{\circ}$  C. :

1. Sans recuit subséquent ;
2. Recuit à  $350^{\circ}$  C.
3. Id.  $550^{\circ}$  C.

b) Chauffé, préalablement à la trempe, à  $850^{\circ}$  C. :

- 1, 2, 3 comme ci-dessus ;

c) Chauffé, préalablement à la trempe, à  $1000^{\circ}$  C. :

- 1, 2 et 3 comme ci-dessus.

V. — Trempé dans le plomb à une température de 550° C. :

- |    |                         |          |
|----|-------------------------|----------|
| 1. | Chauffé préalablement à | 750° C.  |
| 2. | Id.                     | 850° C.  |
| 3. | Id                      | 1000° C. |

### B. — Matériaux d'essais.

Dans cette série d'essais, on fit exclusivement usage d'acier sur sole, acide, produit aux usines Fagersta. Dans un grand nombre d'exemples, comme dans le cas des plus forts pourcentages en soufre, les charges respectives étaient faites spécialement dans ce but particulier. Le pourcentage en silicium et en manganèse était fort au-dessus de celui que l'on rencontre généralement dans les produits suédois.

Les lingots obtenus de onze des treize charges décrites étaient parfaitement sains, avec seulement un léger état de spongiosité. Ce défaut était de minime importance, attendu qu'il se rencontrait seulement près du sommet des lingots, partie qu'on pouvait enlever. Ce résultat favorable était très vraisemblablement dû à la haute température finale, mais il est très probable que des lingots sains auraient également été obtenus à une basse température, par suite du haut pourcentage en silicium. Dans aucun cas, il n'y avait formation de soufflures à la surface.

Le traitement mécanique était différent suivant qu'il s'agissait de lingots de 8 ou de 10 pouces, les premiers étant ramenés à 5 1/2 pouces par laminage et les derniers par forgeage. Tous les blooms ainsi obtenus étaient laminés en une chaude en barres rondes de 32 millimètres, bien que les résultats d'essais ne dussent pas vraisemblablement être influencés par cette circonstance, à un degré appréciable.

Après le laminage terminé, les barres d'essais étaient soumises au refroidissement, en évitant soigneusement tout contact avec les plaques du pavement, et, après refroidissement suffisant, elles étaient coupées à longueurs convenables pour être tournées à 18 millimètres, diamètre normal des éprouvettes.

### C. — Recuit et trempe des éprouvettes.

Le four imaginé par Brinell pour la trempe ressemble quelque peu au four à moufle ordinaire, bien qu'il en diffère en ce que les gaz de combustion passent en partie à travers le fourneau, mais de telle manière que les barres d'essais soient exposées aussi peu que

possible au contact direct avec eux, l'entrée et la sortie étant placées à un niveau plus bas que celui auquel les extrémités inférieures des barres sont placées.

Dans le cours de ces expériences, on a trouvé que ce dispositif permettait non seulement de régler la température comme on le désirait, mais aussi de la maintenir à un taux uniforme. La détermination de la température s'obtenait au moyen du pyromètre électrique Le Chatelier.

Brinell a également imaginé un dispositif pour supporter les éprouvettes dans le dit four, dans une position verticale, et au centre de ce dernier.

Au moyen de cet appareil, Brinell atteignait le double but de chauffer uniformément toutes les barres d'une même série et également de traiter simultanément des spécimens des diverses sortes, au nombre de 30.

Comme d'habitude, la température du fourneau, lors de l'introduction des éprouvettes, devait être de 100 à 200° C. en-dessous de la température à laquelle elles devaient être trempées. Pour atteindre la température voulue, ces éprouvettes séjournaient dans le four en moyenne pendant environ une heure.

Aux hautes températures de 1,000 à 1,200° C., le temps nécessaire était plus considérable qu'aux plus basses. Toutes les éprouvettes étaient retirées en même temps avec le support et plongées aussi rapidement que possible dans le liquide de trempage, en maintenant l'agitation jusqu'au refroidissement complet.

#### D. — Résultats d'essais.

Les résultats des divers essais de tension dans cette série de recherches sont donnés dans cinq tableaux et sont groupés sous les rubriques suivantes :

1<sup>er</sup> tableau : Eprouvettes recuites et lentement refroidies.

2<sup>e</sup> — : Eprouvettes trempées à 750° C. dans l'eau et dans l'huile.

3<sup>e</sup> — : Eprouvettes trempées à 850° C. dans l'eau et dans l'huile.

4<sup>e</sup> — : Eprouvettes trempées à 1,000° C. dans l'eau et dans l'huile.

5<sup>e</sup> — : Eprouvettes trempées dans le plomb.

Dans un but de facilité, les diverses espèces de matériaux d'essais sont classées d'après le pourcentage en carbone et sont réparties en trois groupes seulement :

- Groupe I. Acier dur : Teneur moyenne en carbone, 0.84 % ;  
 » II. Acier doux : » » 0.39 »  
 » III. Acier très doux (presque du fer) : Teneur moyenne en carbone, 0.20 %.

1. — *Recuit et refroidissement lent.*

On sait depuis longtemps que le fer, ou l'acier spécialement, s'il est travaillé à froid, acquiert, par le chauffage à la température bleue de recuit, une augmentation sensible de résistance et, dans certains cas exceptionnels, de ténacité. Les propriétés élastiques sont, en même temps, accrues, ou, en d'autres termes, par suite d'un tel traitement, la qualité de la matière est améliorée sous tous rapports.

Les présentes recherches ont confirmé cette connaissance. Ainsi, il a été noté en premier lieu que la limite élastique réelle est élevée par le chauffage jusque 350° C., respectivement aux taux suivants :

Dans le groupe I . . . . .	de 28 % ;
» II . . . . .	de 24 »
» III . . . . .	de 23 »
Echantillon à 0.09 % en carbone . . . . .	de 20 »

Par rapport à la ductilité, il y a aussi amélioration, le degré d'accroissement étant respectivement dans les trois groupes et dans l'échantillon isolé considéré, de 9, 5, 12 et 38 %.

On trouve que le chauffage jusque 350° C. augmente considérablement l'élasticité et la ténacité de la matière, sans affecter les propriétés de résistance absolue dans des proportions appréciables ; ce fait mérite d'être retenu.

Les résultats obtenus par les présentes expériences diffèrent entièrement des renseignements fournis par les métallurgistes les plus éminents. Il n'y a conséquemment rien d'étonnant à ce que la différence soit encore plus marquée quant aux résultats du recuit à des températures plus élevées. Selon ce qui paraît être l'opinion la plus accréditée, la matière forgée est rendue plus douce par le recuit et le refroidissement lent subséquent, tandis que, en même temps, la résistance et les propriétés élastiques sont réduites. A un point de vue général, ceci est sans doute parfaitement vrai et complètement d'accord avec les changements de structure déterminés par le traitement mécanique. C'est un dicton, en ce qui concerne de semblables cas de recuit, que ce qui est gagné en ténacité est perdu en résistance et en élasticité, et que c'est seulement dans le cas de matière non forgée,

tels que les lingots et les moulages, qu'une amélioration de toutes les propriétés physiques se produit en suite du recuit avec refroidissement subséquent, soit lent, soit brusque.

Les présents résultats d'essais montrent, en règle générale, qu'un recuit judicieux produit une amélioration marquée tant dans les propriétés de malléabilité que de ductilité. Par exemple, en examinant les résultats moyens de recuit jusque 1000° C., on trouve qu'une amélioration générale se produit par rapport aux diverses propriétés dans les proportions suivantes :

	Limite d'élasticité	Limite de déformation	Limite de rupture	Allongement
	‰	‰	‰	‰
Groupe n° I . . .	44	19	8	11
» II . . .	44	20	2	12
» III . . .	40	28	3	15
Échantillon isolé	48	26	2	39

## 2. — Trempe dans l'eau.

a) *Recuit préalable à 750° C.* — De récentes recherches ont établi, sans le moindre doute, contrairement à la théorie qui prévalait autrefois, que les températures de 700 et de 600° C. respectivement, ne doivent nullement être regardées comme représentant les limites entre lesquelles, dans le cas d'un refroidissement gradué, le carbone de trempe est changé en carbone de ciment, puisque en fait cette transformation se produit à une température plus élevée. Ainsi, dans le cas d'une matière contenant 0.89 ‰ de carbone, cette transformation se produit à environ 700° C., mais, avec tout autre pourcentage en carbone, elle se produira à une période moins avancée du refroidissement. Avec 1.0 ‰ de carbone, ce changement se produit déjà à 800° C., tandis que dans le cas de pourcentages plus élevés que 1.0 ‰ ou moindres que 0.25 ‰, il se produit au-delà de cette limite.

En considérant de plus que, dans le cas d'un nouveau recuit, le carbone de ciment formé à la suite d'un refroidissement préalable prend à nouveau l'état de carbone de trempe, sauf à une température de 40° C. environ au-dessus de celle à laquelle la transformation

antérieure a eu lieu, il ne peut être affirmé qu'une température de recuit de 750° C. suffira toujours pour produire la transformation du ciment en carbone de trempe, bien que, occasionnellement, cela puisse avoir lieu.

Selon les recherches de Brinell, il paraît aussi que cette transformation n'est pas effectuée par le recuit à 750° C. ou tout au plus seulement dans une proportion limitée. Dans les essais de trempe dont il s'agit, ceci peut être dû en partie à un refroidissement partiel des éprouvettes pendant qu'elles étaient extraites du four pour être plongées dans le liquide de trempe, occasionnant peut-être une formation commençante de carbone de ciment qui rend la trempe moins effective.

Il semble, néanmoins, que ces altérations, qui se produisent apparemment dans la plupart des éprouvettes quand elles sont trempées, peuvent être regardées comme possédant un caractère purement physique. Elles sont, de plus, complètement effacées simplement par un réchauffement subséquent de la matière à 350° C. seulement. Cette théorie paraîtrait être aussi corroborée par le fait que la diminution de ductilité, en suite de ce traitement, est sensiblement plus considérable dans le cas de matières plus douces que dans celui de matières plus dures. Selon les valeurs comparatives de l'allongement dans le tableau rapportant les essais de trempe à 750° C. dans l'eau, et sans recuit subséquent, les degrés suivants de décroissement ou d'accroissement, suivant le cas, sont à noter :

Dans le groupe	I. —	Ductilité augmentée de	15 %.
Id.	II. —	Id.	id.
Id.	III. —	Id.	id.
Echantillon isolé.	—	Id.	id.
			14 %.
			33 %.
			40 %.

Si cette altération des propriétés physiques était, dans une forte proportion, due à la transformation du carbone, elle serait, conséquemment, plus accentuée dans les degrés croissants de pourcentage en carbone. Mais d'après les renseignements ci-dessus, le contraire paraît être le cas.

Le fait que, dans le cas de l'acier le plus dur (groupe I, carbone 0.84 %), la ductilité, au lieu de décroître, commence à croître, est remarquable et difficile à expliquer. Toutefois, de l'examen des divers essais de ce groupe, on ne peut nullement considérer cette particularité comme accidentelle.

Il semblerait que les changements dans l'acier, consécutifs à la

trempe à 750° C. sans recuit subséquent, pourraient être comparés à ceux effectués par le travail à froid dont l'action du traitement sur la réduction des propriétés ductiles est aussi plus effective dans les matières plus tendres que dans les plus dures. Mais il y a, d'autre part, une différence marquée entre les deux modes de traitement par rapport à la limite réelle élastique, le dernier mode tendant à élever cette limite, tandis que le premier a l'effet inverse. Dans les groupes I, II, III et l'échantillon isolé, les taux de ce décroissement sont respectivement de 25, 20, 33 et 7 %. D'autre part, les limites de déformation permanente et de rupture seront en moyenne élevées par rapport à la trempe et spécialement aussi dans le cas de matières plus douces, où les valeurs des points de déformation permanente et de charge de rupture sont augmentées respectivement de 77 et de 72 %.

Après réchauffement jusque environ 350° C., la perte en ductilité due à la trempe n'est pas seulement retrouvée, mais les valeurs de l'allongement sont même plus élevées que celles obtenues dans le cas des éprouvettes avant traitement, tandis que les valeurs de charge de rupture, soit augmentées soit réduites par rapport à cette trempe, deviennent de nouveau environ les mêmes que celles rencontrées dans les éprouvettes primitives.

Quant aux valeurs de la limite réelle d'élasticité, la perte sous ce rapport ne sera pas restituée par le réchauffement seulement à 350° C., mais la température de 550° C. a été trouvée amplement suffisante à cette fin. Les matières sulfureuses, quand elles sont traitées de la manière décrite ici, montrent d'une façon générale les mêmes tendances et allures. De ces résultats il peut être sûrement conclu que la trempe à la température de 750° C. doit être évitée, soit avec, soit sans recuit ultérieur.

*b) Recuit préalable à 850° C.* — Cette température de trempe paraît devoir être la plus convenable pour toutes les diverses matières de la série considérée, excepté pour deux échantillons sulfureux qui semblent acquérir une trempe plus énergique seulement quand ils sont recuits jusqu'à 1000° C. L'examen des résultats montre que, dans le cas des matières les plus dures, quand elles sont trempées à cette température sans recuit subséquent, ou réchauffées seulement jusque 350° C., les essais de tension ont pour la plupart échoué. Le fait est que, en dépit du soin pris pendant la trempe, la matière avait souffert quelque déformation donnant lieu à un certain effort de flexion.

Par rapport à l'altération des propriétés physiques dans le cas

présent, l'influence prédominante doit être sans aucun doute attribuée au changement d'état du carbone, comme on peut le voir en comparant les valeurs réduites d'allongement dans les éprouvettes non recuites. Le taux de ce décroissement dans les groupes II, III et l'élément isolé, sont respectivement de 96, 69 et 39 %; il n'y a eu aucun résultat d'essai valable pour le groupe I. Les taux décroissants progressent ainsi en sens inverse comparativement au décroissement correspondant indiqué ci-dessus dans le précédent cas de trempe à 750° C., où la matière la plus douce a subi la plus grande détérioration.

Un fait remarquable est qu'un décroissement considérable dans les valeurs de la limite d'élasticité est à noter dans la plupart des cas de cette opération de trempe. Il est à présumer que cela est dû au développement de certains efforts dans la matière, pendant la trempe, qui influencent défavorablement les propriétés élastiques. C'est seulement au moyen d'un recuit subséquent, jusque 550° C., que l'on obtient une plus haute valeur pour cette limite, bien qu'en général, cela sera au détriment du point de déformation permanente et de la charge de rupture. Consécutivement à ce nouveau recuit à 550° C., l'accroissement des valeurs de limite d'élasticité, comparées aux valeurs obtenues dans les éprouvettes avant d'être traitées, est trouvé être :

Dans le groupe I . . . . .	148 %
Id. II . . . . .	143 »
Id. III . . . . .	63 »
Echantillon isolé . . . . .	47 »

Par ce traitement de recuit, la perte en tenacité est aussi entièrement retrouvée, bien que les valeurs d'allongement restent encore inférieures à celles obtenues en essayant les éprouvettes primitives, excepté dans le cas de l'échantillon isolé. La dite matière a été notablement améliorée sous tous rapports par la trempe à 850° C., avec recuit subséquent à 550° C.

c) *Recuit préalable à 1,000° C.* — Bien que la température de trempe de 850° C. paraisse en réalité la plus convenable, en ce qui concerne les propriétés de tension de l'acier, il semble que le recuit préalable peut, sans aucun inconvénient, être porté à la température relativement élevée de 1,000° C. Il est vrai que la qualité des aciers appartenant au groupe I, c'est-à-dire des plus durs, doit souffrir dans une certaine mesure d'un tel accroissement de la température de trempe, mais en général la détérioration

ne sera pas importante. Le décroissement remarquable dans les valeurs de l'allongement ci-dessus rapportées indique probablement un surchauffement, tandis que, d'autre part, la même matière résiste parfaitement à un recuit qui n'est pas moindre que 1,200° C. avec un lent refroidissement consécutif, sans souffrir aucune détérioration. Cette contradiction apparente sera probablement expliquée par l'examen métallographique.

Dans le groupe II (teneur moyenne en carbone 0.39 %), il y a plusieurs exemples dans lesquels la trempe est plus énergique à 1,000° C., qu'à 850° C. Ainsi, en comparant les valeurs des essais obtenues à ces températures respectivement, dans chaque cas, avec recuit subséquent à 350° C., les degrés d'accroissement et de décroissement sont les suivants :

	<i>Température de trempe</i>	
	850° C.	1000° C.
Limite d'élasticité, accroissement . . . . .	73 %	132 %
Limite de déformation permanente, accroissement . . . . .	170 »	218 »
Charge de rupture, accroissement . . . . .	166 »	90 »
Allongement, décroissement . . . . .	84 »	83 »

On rencontre aussi un décroissement analogue de l'effet de la trempe dans l'élément isolé quand il est trempé respectivement à 850° et 1,000° C.; le recuit subséquent étant porté à 550° C., comme suit :

	<i>Température de trempe</i>	
	850° C.	1000° C.
Limite d'électricité, accroissement . . . . .	47 %	48 %
Limite de déformation permanente, accroissement . . . . .	22 »	62 »
Charge de rupture, accroissement . . . . .	9 »	24 »
Allongement, accroissement . . . . .	18 »	32 »

De ce dernier exemple, il résulte que la température de trempe de 1,000° C. est positivement la plus avantageuse, mais on doit se rappeler que dans le cas d'une matière d'une si faible teneur en carbone (0.09 %), les altérations dues à la trempe n'ont qu'un caractère purement physique.

### 3. — *Trempe dans l'huile à + 80° C.*

L'usage de l'huile comme liquide trempant au lieu de l'eau a produit une trempe plus douce dans presque chaque cas de cette série d'expériences. Ce fait avait déjà été reconnu précédemment, mais, à

un point de vue au moins, ces résultats d'essais de trempe dans l'huile présentent un intérêt particulier, surtout en ce qui concerne les valeurs de la limite réelle d'élasticité.

Comme il a été ci-dessus mentionné, un décroissement de ces valeurs se produit à la suite de la trempe dans l'eau, soit à 750°, 850° ou 1,000° C., sans recuit subséquent, tandis qu'ici, au contraire, quand la trempe se fait dans l'huile, l'effet est inverse, c'est-à-dire que la limite d'élasticité est accrue. Il n'y a que quelques exceptions à cette règle dans les essais effectués, dans le groupe III, avec trempe à 850° C.

#### 4. — Trempe dans le plomb à 550° C.

Les résultats de cette trempe doivent en général être semblables à ceux obtenus par la trempe dans l'eau et le recuit subséquent jusque 550° C., mais la trempe dans le plomb est de beaucoup moins énergique. Parmi d'autres causes, ce fait est, sans nul doute, dû, dans une certaine limite, à ce que la température du bain augmente graduellement pendant le cours de l'opération, même si la masse de plomb est supérieure à 1,000 kilogrammes. Une autre cause probable réside dans la difficulté de régler soigneusement la température du plomb liquide.

#### 5. — Influence de la composition chimique.

a) *Influence du manganèse.* — C'est un fait bien connu que le manganèse est apte à augmenter la qualité durcissante de l'acier. Ce fait est mis en évidence par le résultat des deux essais d'aciers ci-après, dans lesquels les teneurs en manganèse diffèrent sensiblement, tandis que le reste de la composition est à peu près identique dans les deux cas.

No	ANALYSE					Numéro de dureté	
	CARBONE	SILICIUM	MANGANÈSE	SOUFRE	PHOSPHORE	Non trempé	Trempé
	‰	‰	‰	‰	‰		
1	0.65	0.27	0.49	0.011	0.028	255	460
2	0.66	0.33	0.18	0.010	0.028	228	327

Il en résulte que l'accroissement de dureté dû à la présence du plus haut pourcentage de manganèse est, en moyenne, dans la matière non trempée, de  $\frac{255 - 228}{0.49 - 0.18} \times \frac{1}{10} =$  environ 9 unités pour chaque 0.1 % de manganèse, tandis qu'après trempe, il monte à  $\frac{460 - 327}{0.49 - 0.18} \times \frac{1}{10} =$  environ 43 unités pour chaque 0.1 % de manganèse.

On déduit également des résultats des essais que les taux d'accroissement de la charge de rupture dus au manganèse sont, en cas de trempe :

Pour la trempe à 750° C. = 2.3 unités pour chaque 0.1 % de manganèse.				
Id.	850° C. = 3.0	id.	id.	id.
Id.	1000° C. = 4.5	id.	id.	id.

Dans le cas de matière non trempée, l'accroissement correspondant était d'environ 3 unités pour chaque 0.1 % de manganèse. On peut en tirer la conclusion que, dans le cas de matière trempée, un plus haut pourcentage de manganèse augmenterait la dureté sans produire d'accroissement correspondant dans la résistance à la tension. De plus, tout en accroissant ainsi la charge de rupture de 2.3 à 4.5 unités pour chaque 0.1 %, le manganèse réduisait la valeur de l'allongement au taux de 0.4 pour chaque 0.1 % de ce métal dans la matière non trempée et de 0.6 à 0.8 pour chaque 0.1 % dans la matière trempée.

Des premières expériences faites par Brinell, il paraîtrait que l'action du manganèse en occasionnant un accroissement de dureté dans l'acier quand il est recuit, se manifestait plus énergique dans les présents essais que dans les précédents.

b) *Influence du silicium.* — En calculant les valeurs moyennes d'allongement et de charge de rupture dans les éprouvettes non trempées, on a obtenu les résultats suivants :

1. Si=0.453, allongement = 30 %; charge de rupture = 45 k. 7 par mm. carré
2. Si=0.014, id. = 31.6 %; id. = 41 k. 2 id.

Evidemment cette différence n'est pas très notable quand on considère la grande différence dans les pourcentages en silicium. De l'ensemble des résultats obtenus, il est établi que ce constituant n'exerce aucune influence nuisible sur les résultats de la trempe, une première fois du moins.

c) *Influence du soufre.* — Les matières essayées formaient deux groupes. Dans l'un, les deux éprouvettes contenaient respectivement 0.45 de carbone avec 0.18 et 0.56 % de soufre, tandis que dans l'autre, avec une teneur en carbone de 0.33 %, le soufre entraînait pour 0.015 et 0.15 % dans les échantillons. Dans les deux matières sulfureuses, le pourcentage de manganèse est de 1.06 % dans l'un et de 0.94 % dans l'autre.

Comme fait remarquable, on peut signaler que, en dépit des 0.56 % de soufre de l'une d'elles, on n'a pas constaté qu'elle fût cassante à chaud, ce qui était dû à l'influence compensatrice du manganèse. Au contraire, la matière sulfureuse de l'autre groupe ( $S_i=0.15$ ) s'est montrée égale à la non-sulfureuse du même groupe ( $S_i=0.015$ ), tant à l'état trempé qu'à l'état non trempé. On ne doit pas perdre de vue que toutes les valeurs dont il est question dans ce mémoire se rapportent seulement à la direction du laminage; Brinell a montré qu'il existe une différence essentielle quant à la qualité dans la direction de laminage et dans la direction transversale; cette qualité était inférieure dans cette dernière.

Les valeurs suivantes (trempe à 850° C. avec recuit subséquent à 350° C.) peuvent être obtenues avec une matière sulfureuse contenant 0.15 % de cuivre :

Limite d'élasticité . . . . .	=	39.6 k.	par mm.carré.
Limite de déformation permanente . . . . .	=	59.3	id.
Charge de rupture . . . . .	=	153.3	id.
Allongement . . . . .	=	4.3	%

Dans ce cas aussi, on n'a pas constaté que la matière fût cassante à chaud.

---

## II

*Influence de la composition chimique et des divers modes de traitement sur la résistance au choc dans le fer et l'acier à la température ordinaire et aussi à de basses températures.*

---

L'auteur a signalé déjà dans un autre mémoire que les valeurs obtenues par les essais de tension ne sont nullement un *criterium* certain en ce qui concerne les propriétés de résistance au choc d'une matière acièreuse et que de semblables essais ont été abandonnés en

conséquence dans une certaine mesure. Mais, avant de considérer cet abandon comme justifié, il est désirable de procéder à une investigation complète.

Dans ce but, Brinell s'est proposé, tout en effectuant les essais de tension ci-dessus décrits, d'entreprendre une série d'essais au choc avec les mêmes matières. Il a également décidé de faire ces expériences, non seulement à une température d'environ 12° C. au dessus de la température normale, soit +30° C., mais aussi à la température exceptionnellement basse de -24° C. à -28° C. Il y a, en plus, deux essais effectués dans chaque cas, l'une avec une éprouvette entaillée et l'autre avec une éprouvette à section pleine. Comme on le sait, toute la question de la conduite du fer et de l'acier à de très basses températures ne peut être considérée comme résolue d'une manière satisfaisante. Bien qu'un grand nombre d'essais aient été effectués, spécialement dans le cas d'installations de chemins de fer, les résultats obtenus ont toujours été trouvés quelque peu irréguliers et même contradictoires.

Dans les contrées septentrionales, une semblable question ne devait pas manquer d'exciter un plus vif intérêt que dans celles où le climat est moins rude. En Suède, où il existe maintenant un réseau de chemins de fer s'étendant au-delà du cercle arctique, le sujet est d'importance capitale et les recherches entreprises par Brinell sont donc d'une valeur pratique essentielle.

Comme il a été mentionné ci-dessus, son programme comprend une série complète d'essais avec des spécimens qui sont entaillés dans le but de déterminer l'effet produit par des défauts dans la matière.

Bien qu'il ne soit pas possible de déterminer avec certitude absolue dans quelle mesure le défaut subit d'une matière, d'ailleurs parfaite, peut être directement ou indirectement dû à une telle cause, il est cependant certain que de telles circonstances se présentent plus fréquemment qu'on ne le suppose, particulièrement dans le cas de matières sujettes à des chocs. La rencontre d'un défaut local dans quelque partie d'une matière peut, dans un grand nombre de cas, être due à un manque de soins dans la fabrication ou à quelque défaut d'exécution ; mais on rencontre très souvent des indications de défauts qui ne peuvent être attribués à l'une ou l'autre des causes précitées. En tout cas, la question est de trop grande importance pour être perdue de vue, et tous essais effectués pour déterminer la résistance aux chocs, caractéristique des diverses matières, méritent d'être rapportés.

## A. — Programme des essais.

Dans chaque cas, la matière était soumise à plusieurs épreuves différentes, avec des barres pleines et avec d'autres entaillées. La température des barres essayées était  $+30^{\circ}$  C. et  $-20$  à  $-30^{\circ}$  C. Ces différents essais étaient entrepris avec des éprouvettes qui avaient subi les divers modes de traitement mentionnés ci-dessous, et à chacun desquels chaque espèce de matière était soumise :

1. Laminage à chaud, sans traitement ultérieur ;
2. Recuit, avec refroidissement lent subséquent ;
  - a) à  $350^{\circ}$  C.
  - b) à  $650^{\circ}$  C.
  - c) à  $750^{\circ}$  C.
  - d) à  $850^{\circ}$  C.
  - e) à  $1000^{\circ}$  C.
  - f) à  $1200^{\circ}$  C.
3. Recuit à  $850^{\circ}$  avec trempe subséquente :
  - a) dans le plomb à  $550^{\circ}$  C., sans nouveau recuit.
  - b) dans l'huile à  $+80^{\circ}$  C. et nouveau recuit subséquent à  $550^{\circ}$  C.
  - c) dans de l'eau à  $+20^{\circ}$  C.                   »                   »                     $550^{\circ}$  C.

Le nombre des matières était de 15, celui des traitements, de 10, et 4 essais étaient effectués avec chaque matière traitée. Le nombre des résultats d'essais obtenus s'élève conséquemment à  $15 \times 10 \times 4 = 600$  ; mais le nombre d'essais simples effectués dans le cours de ces expériences est supérieur de beaucoup, parce que les éprouvettes respectives permettaient de faire trois essais simples en cas de nécessité.

## B. — Matières soumises aux essais.

Les mêmes qualités de matières étaient employées pour ces expériences que pour les essais de tension, plus deux autres.

On fit des lingots de 8 pouces qui furent laminés en blooms de  $5 \frac{1}{2}$  pouces ; ceux-ci furent laminés en une seule chaude en barres carrées de  $30 \text{ mm}$  de côté, qui furent abandonnées au refroidissement à l'air libre.

Les entailles étaient pratiquées à une profondeur de  $6 \text{ mm}$ , avec une largeur de  $1 \text{ mm}$ , et sur les côtés opposés de la même section de la barre. Une scie, d'un modèle spécial, qui avait été aiguisée de la façon la plus soignée, était employée pour pratiquer les entailles, et une sonnerie électrique était pourvue d'un dispositif pour déclancher exactement à la profondeur requise. Toutes les barres d'essais étaient

préparées de la même manière, étant semblablement pourvues d'entailles, bien qu'on eût l'intention d'essayer une moitié des éprouvettes sans aucune incision.

Pour effectuer les essais normaux, il fut décidé de tourner les barres rondes de manière à avoir les entailles soit dans une position verticale soit parallèles à la direction de l'effort. Au moyen de cet arrangement, le point auquel la rupture devait se produire était connu d'avance et l'on obtenait toujours la même surface de cassure, mais il faut remarquer que l'allongement total devait en même temps ne se produire que dans une longueur de 1 <sup>mm</sup>, ceci étant la largeur des incisions latérales. Il devenait ainsi moins considérable que dans des cas semblables sans une telle incision. Par suite de cet inconvénient, le mode d'essai employé ici sans entailles ne devait donner comparativement que des résultats défavorables.

Quant à la forme des incisions, il doit être mentionné qu'elles étaient rectangulaires avec des bords plutôt aigus, circonstance qui ne doit pas être perdue de vue quand on compare finalement ces résultats avec ceux obtenus dans des occasions antérieures.

### C. — Recuit, trempe et autres particularités de traitement préliminaire.

Le procédé de recuit et de trempe était exactement le même que celui déjà décrit dans les essais de tension avec les mêmes matières.

Brinell a imaginé un appareil destiné à amener les éprouvettes aux températures voulues et précédemment indiquées; nous ne le décrivons pas.

L'appareil d'expériences est disposé de manière que les éprouvettes soient fixées à une extrémité seulement. Cette méthode, employée par Barba et d'autres, est essentiellement différente de celle généralement employée pour effectuer les essais aux chocs et dans laquelle les coups sont appliqués à l'éprouvette en un point situé à mi-distance entre les deux supports sur lesquels la barre est simplement posée sans être fixée en aucune façon.

Dans le nouveau système, la barre doit être solidement fixée à l'enclume; le poids de celle-ci doit être au moins dix fois celui du marteau. Dans le marteau employé par Brinell pour effectuer la présente série d'essais au choc, ce rapport était beaucoup dépassé, la proportion dans ce cas étant de 25 à 1.

Le poids du marteau était une constante de 18 kilogrammes. La

façon de procéder était la suivante : Après avoir été conservée dans la boîte en tôle de fer de l'appareil refroidisseur, aussi longtemps que de besoin, pour l'amener à la température voulue, la barre d'essai était promptement extraite et assurée sur l'enclume et l'essai était immédiatement exécuté. La hauteur de chute du premier coup était de 100 m/m, du second 200 et du troisième 300 et ainsi de suite ; au vingt-cinquième coup, la hauteur de chute avait ainsi graduellement augmenté jusque 2,500 m/m, le travail total effectué étant de 585 kilogrammètres.

#### D. — Résultats d'essais.

Quand on compare différents exemples d'essais, les valeurs numériques du travail effectué, exprimé en kilogrammètres, ne représentent nullement les valeurs comparatives exactes du choc supporté. Par exemple, quand deux barres éprouvettes sont rapportées comme ayant été brisées sous des efforts respectivement de 200 et de 100 kilogrammètres, le premier a effectivement supporté un effort plus que double de celui subi par le dernier. Sous ce rapport, l'appréciation exacte des valeurs est rendue difficile, parce que la véritable différence quant à la qualité devient moins marquée que si l'effet de chaque coup successif avait toujours été égal à celui du premier. Néanmoins, avec la diversité des matières essayées employées, cette méthode de Brinell est pratiquement la plus convenable puisqu'elle évite le nombre excessif de coups qui seraient nécessaires autrement, dans le cas de propriétés supérieures de résistance du métal.

Si l'on résume les résultats obtenus dans le but de les comparer plus facilement, la valeur du travail effectué dans chaque cas, semble offrir une base plus convenable de comparaison que le nombre de coups requis dans le cas de chaque essai, parce que, dans le premier, toute différence, quant à la qualité, est plus fortement marquée. Les résumés établis à l'occasion de l'Exposition de Paris étaient basés sur le principe mentionné en dernier lieu ; mais, pour la susdite raison, l'autre a été ici préféré. On doit néanmoins se rappeler toujours que les valeurs numériques du travail effectué ne permettent pas de faire une estimation exacte des différences actuelles en qualité, mais peuvent seulement être employées comme un moyen de classer les matières respectives ou les spécimens respectifs d'une même matière dans l'ordre de leurs valeurs relatives quant à la qualité. Néanmoins, quoique seulement approximatives, elles offrent un

moyen de déterminer avec une exactitude suffisante les valeurs relatives des différentes matières, sous le rapport de la résistance aux chocs.

1. — *Influence de la composition chimique.*

a) *Carbone.* — En ne tenant pas compte des charges sulfureuses 5 et 7, le tableau ci-annexé montre que la résistance aux chocs est beaucoup diminuée avec les taux croissants de carbone. Ceci est la règle générale, que la matière soit trempée ou non, essayée avec ou sans entailles, à haute ou à basse température. Il y a néanmoins, quelques irrégularités exceptionnelles à signaler dans le cas d'essais avec entailles à une température de gelée; par exemple, la matière non trempée, contenant 0.9 % de carbone, est inférieure à toute autre qualité d'acier essayé. D'ailleurs, d'une façon générale, la même règle domine aussi dans les essais à froid.



b) *Silicium*. — Dans le but de déterminer l'influence du silicium, il n'y a que deux charges à considérer, les nos 2 et 3.

A l'état non trempé, la supériorité de la matière qui est la plus riche en silicium est incontestable. La chose est plus spécialement évidente dans le cas d'essais avec des éprouvettes entaillées et la différence est même plus marquée à la température de gelée. La valeur moyenne de l'effort total au choc est ici de 37 kilogrammètres pour cette matière, tandis qu'elle n'est que de 5.4 kilogrammètres pour l'autre.

En essayant les mêmes matières après trempe, le résultat est complètement différent, la première est alors essentiellement inférieure à la moins siliciée. Mais on ne doit pas oublier que le plus bas pourcentage de silicium est ici combiné avec un pourcentage supérieur de carbone et aussi de manganèse, par suite desquels cette matière a probablement pris une trempe supérieure, et, par rapport à la propriété de résistance au choc, chaque matière semble être améliorée par la trempe.

Les résultats contradictoires ainsi obtenus dans le cas d'échantillons trempés ou non, semblent n'admettre aucune conclusion générale quant à l'influence du silicium. Selon les essais de tension décrits ci-dessus, le plus haut pourcentage de silicium a été trouvé, en moyenne, être accompagné d'une augmentation de résistance et d'élasticité et d'une diminution de ductilité, bien que l'existence de plusieurs irrégularités fût vérifiée, avec la matière trempée comme avec celle non trempée. Néanmoins, la matière plus riche en silicium était, quand elle était essayée dans l'état original, sans trempe ni recuit, supérieure, sous tous rapports, à l'autre.

c) *Manganèse*. — Des résultats obtenus dans le cas des deux charges : le n° 8 dans laquelle le manganèse est de 0.46 % (ce qui est à peu près normal) et le n° 9 ayant une teneur exceptionnellement élevée en manganèse, on peut conclure :

Que, dans les éprouvettes trempées, normalement essayées, la résistance aux chocs est considérablement augmentée par suite du manganèse, tandis que, dans les éprouvettes non trempées, on constatait des phénomènes absolument opposés ;

Que les essais des éprouvettes entaillées sans trempe ont donné à peu près les mêmes résultats, tandis que dans celles qui ont subi la trempe, on constate que le manganèse améliore la matière.

L'effet bienfaisant du manganèse dans le cas de matière trempée est probablement dû à l'énergie spéciale de la trempe qui est caractéristique pour ce constituant, ainsi qu'il a été constaté antérieurement

à plusieurs reprises. Néanmoins, la matière trempée n'est pas employée dans le cas où la qualité de résistance aux chocs est en pratique mise à l'essai et, sous ce rapport, de plus haut pourcentages en manganèse devraient être évités dans de semblables cas.

La conclusion ci-dessus est confirmée par les résultats obtenus dans le cas des deux charges 10 et 11, la première à la teneur à peu près normale en manganèse de 0.49 % et l'autre à très faible teneur en manganèse, 0.18 %/. La première de ces deux matières, bien que trouvée supérieure, quand elle est trempée et normalement essayée à +30° C., est essentiellement inférieure dans tout autre cas. Ceci est plus remarquable lorsque les pourcentages de phosphore et de silicium excèdent quelque peu ceux rencontrés dans les matières plus pauvres en manganèse; que si les résultats obtenus après trempe ne se montrent pas identiques avec ceux de la précédente série (8 et 9), le fait est probablement dû à ce que le pourcentage de manganèse du n° 10, bien que deux fois aussi élevé que celui du n° 11, ne suffit pas seul à produire un accroissement sensible dans la capacité durcissante de la matière.

d) *Soufre*. — Parmi les différents résultats de la présente série d'essais, les plus remarquables sans conteste sont ceux relatifs à l'influence du soufre.

Les deux matières considérées ici ont une teneur exceptionnellement élevée en soufre, les charges n° 7 et 5, en contenant respectivement 0.56 % et 0.15 %. La première n'est intéressante qu'à un point de vue purement théorique; il suffit de dire ici que les valeurs d'essais sont au moins égales à celles obtenues dans le cas des deux charges non sulfureuses contenant à peu près le même pourcentage en carbone (n°s 8 et 9).

Le cas de l'autre charge sulfureuse (n° 5) est complètement différent. Quoique le pourcentage de soufre dépasse de beaucoup la limite ordinaire, l'adoption de cette nature d'acier pour les usages pratiques n'est nullement exclue, pourvu que les propriétés physiques soient acceptables. Les propriétés de tension de cette matière sont, comme il a été dit, tout à fait satisfaisantes dans le sens du laminage, et les propriétés de trempe sont irréprochables. Des résultats obtenus, il s'ensuit de plus que cette matière est supérieure, en ce qui concerne la résistance aux chocs, à toute autre dans la présente série. Cela a été le cas dans toutes les espèces d'essais, soit à l'état trempé ou non trempé, à une basse ou à une haute température, que les éprouvettes fussent entaillées ou normales. La seule exception à cette règle a été

constatée dans le cas d'un métal à très faible teneur en carbone, n° 1, (C = 0.09 %), qui a été trouvé quelque peu supérieur dans un des essais, c'est-à-dire quand il a été essayé à l'état non trempé à +30°C.

Il est à présumer que cette supériorité évidente de la matière sulfureuse est uniquement due au haut pourcentage de manganèse en combinaison en même temps que le soufre. Il se produit probablement une formation de sulfure de manganèse pendant le raffinage, matière qui se disperse comme une scorie dans les métaux quand ils sont forgés ; de cette façon, elle forme une espèce de réseau à travers toute la masse et produit une augmentation très considérable dans la résistance aux chocs.

## 2. — *Influence des températures de gelée.*

Comme il a été signalé précédemment, les résultats des premières recherches quant à la conduite du fer et de l'acier aux basses températures ont montré quelques variations. Cela est dû, sans conteste, à ce que, dans certains cas, les essais ont été exécutés d'une manière plus ou moins inappropriée. Des différences, par exemple, peuvent être notées dans les résultats obtenus au moyen des essais aux chocs sur la même matière, quand les essais sont effectués en plein air, ou en différentes saisons, en été ou en hiver. Dans le dernier cas, l'état du sol, qui peut être gelé plus ou moins fort, doit être pris en considération comme une cause probable de chocs plus effectifs. L'auteur a eu l'occasion d'expérimenter personnellement ce fait dans un cas d'essai de bandages, une partie du lot étant essayée en été et l'autre à la fin de l'année, quand la température à l'air libre était d'environ -15° C. Dans la dernière réception, la matière était chauffée à environ +38° C., mais les résultats furent néanmoins incomparablement inférieurs à ceux obtenus lors de la première réception.

En procédant aux essais nouveaux, Brinell a pris toutes les précautions contre des influences de cette espèce. Tous les essais furent effectués à l'intérieur et à la même température de l'air. La seule circonstance qui puisse avoir donné lieu à des irrégularités, semble être, que, pour une raison ou l'autre, la manutention des éprouvettes, quand elles étaient prises de l'appareil refroidisseur et fixées sur l'appareil à essayer, a quelque fois pris plus de temps qu'il n'est généralement nécessaire pour cette opération. La température d'essai de ces éprouvettes devait varier si on la comparait à celle

des autres et la variation de température durant l'essai devait différer aussi selon le nombre de coups appliqués et le temps requis dans les différents cas. Cela était difficile à éviter, mais considérant que l'air est un mauvais conducteur de la chaleur et que les variations de température n'étaient jamais très considérables, il est difficile de supposer que les résultats d'essais aient été influencés à un degré appréciable par cette cause. Quant à l'influence des températures de gelée sur la résistance aux chocs dans le fer et l'acier, on peut déduire ce qui suit des résultats de la présente série d'essais :

Que d'après les valeurs données dans le tableau précédent, la valeur moyenne générale du travail accompli dans tous les essais à  $+ 30^{\circ}$  C. est de 145 kilogrammètres, tandis que dans les essais à de  $- 24^{\circ}$  à  $- 28^{\circ}$  C, le travail fait ne représente que 95 kilogrammètres. La résistance aux chocs est ainsi, dans le dernier cas, inférieure d'au moins 34 %;

Que l'infériorité dont il s'agit est, en grande partie, due à la présence d'entailles. Selon le tableau précité, le rapport des résistances moyennes totales aux chocs, respectivement aux hautes et aux basses

températures, est de  $\frac{208 \text{ kgm.}}{159 \text{ kgm.}}$  dans le cas des essais normaux,

tandis qu'il s'élève à  $\frac{82 \text{ kgm.}}{31 \text{ kgm.}}$  dans les essais avec des éprouvettes

entaillées, ou respectivement 24 et 62 %. On peut en conclure que l'influence des basses températures est essentiellement plus nuisible à la matière ainsi prédisposée;

Que l'influence nuisible des basses températures est plus ou moins énergique selon que le pourcentage en carbone décroît ou croît. En comparant les deux charges, le n° 1 (la plus douce) et le n° 15 (la plus dure), on trouve que pour la première, le travail moyen effectué dans les essais normaux est de 454 kilogrammètres à  $+ 30^{\circ}$  C., contre 184 kilogrammètres à la température de gelée, ou un décroissement de 60 %, tandis que, dans la matière la plus dure, on ne note qu'un décroissement de 9 %. Les résultats moyens correspondants sont ici de 54 et de 49 kilogrammètres respectivement. D'après les valeurs moyennes correspondantes des essais avec des échantillons entaillés, le même fait apparaît encore plus marqué; puisque l'on constate des taux de décroissement qui ne sont pas inférieurs à 94 % (179 kilogrammètres à 10 kilogrammètres) dans le même acier à faible teneur en carbone, contre 25 % (12 kilogrammètres à 9 kilogrammètres), dans le plus dur.

La même règle paraît se maintenir, bien qu'à un degré non aussi prononcé, à travers toute la série de pourcentages en carbone, excepté dans la charge sulfureuse n° 5 (carbone = 31 %; soufre = 0.15 %);

Qu'un accroissement du pourcentage en silicium semble rendre un acier trempé, quand il est normal, plus fragile aux basses températures (voir n°s 2 et 3). Un acier non trempé essayé normalement ou avec des entailles, est, au contraire, influencé en sens opposé, tandis que l'influence du manganèse, à en juger par les deux charges, n°s 8 et 9, semble aussi en général être favorable sous ce rapport;

Que le soufre, quand il est combiné avec une quantité suffisante de manganèse, neutralise essentiellement l'influence nuisible des basses températures;

Qu'en comparant les résultats d'essais obtenus avec la matière trempée et non trempée, l'influence nuisible des basses températures est de beaucoup plus énergique dans la première que dans la dernière; la différence est très importante. Bien que plusieurs essais avec des matières trempées — à l'état normal ou avec des entailles, comme dans le cas du n° 9 — aient donné approximativement des résultats égaux aux hautes et aux basses températures, et d'autres, comme dans le cas des n°s 11, 12 et 13, aient même montré des valeurs améliorées aux basses températures, on trouve cependant que les valeurs des essais de la matière non trempée, de  $-24^{\circ}$  à  $-28^{\circ}$  C. ont, sans exception, été trouvées considérablement inférieures à celles obtenues à  $+30^{\circ}$  C. Cette supériorité de la matière trempée est sans doute due au fait que la structure de la matière est essentiellement améliorée par la trempe.

### 3. — *Influence des entailles dans les éprouvettes.*

Des résultats résumés dans le précédent tableau, on conclut :

Qu'indépendamment des différences dans la composition chimique, des modes de traitements préalables ou de températures d'essais, la valeur moyenne de la résistance totale aux chocs est de 184 kilogrammètres dans les échantillons normaux, et n'est que de 57 kilogrammètres dans les essais avec des échantillons entaillés; le décroissement de résistance aux chocs dû à l'influence des entailles est ainsi de 69 %;

Qu'ainsi qu'il a déjà été signalé, la température exerce ici une très grande influence sur la résistance. A  $+30^{\circ}$  C., la réduction de résistance due à l'entaille était de 61 %, tandis que de  $-24^{\circ}$  à  $-28^{\circ}$  C., elle était de 80 %;

Que l'influence de l'entaille paraît ne pas être affectée par le pourcentage de carbone, puisque, en examinant les valeurs du tableau, les variations ne sont soumises à aucune règle fixe ;

Que, pour autant qu'on peut en juger par les deux charges nos 2 et 3, le silicium semble rendre l'influence des entailles plus nuisible dans la matière trempée et moins dans la matière non trempée ;

Que l'effet du manganèse est complètement neutre sous ce rapport ;

Que le soufre, quand il est combiné avec une quantité suffisante de manganèse, neutralise dans une forte proportion, les effets des entailles ;

Que l'influence des entailles est de beaucoup moins effective dans l'acier trempé que dans l'acier non trempé.

#### 4. — Influence des différents modes de traitement préalable.

Des essais de tension effectués avec les mêmes matières que celles qui ont été décrites ci-dessus, il résulte que, régulièrement, la qualité des matières est améliorée par le recuit et le refroidissement subséquent en plein air. Même quand on chauffe seulement la matière jusque 350° C., une amélioration marquée est observée, et elle est générale par rapport à la tenacité, l'élasticité et la résistance. Il aurait été raisonnable de supposer que, dans la présente série d'essais, le même traitement aurait fourni des résultats analogues, mais cette supposition n'était pas établie par des faits.

Dans le but de faciliter l'étude comparative de l'influence des différents modes de recuit et de trempé, un tableau a été dressé, qui donne les résultats moyens des résistances totales aux chocs, en kilogrammètres, obtenus dans chacun des groupes en lesquels les diverses matières ont été divisées, quant au pourcentage du carbone :

Groupe I, nos 15, 14, 13, 12, 11 et 10 : teneur moyenne en carbone	= 0.87 %
» II, nos 9 et 8	» » = 0.47 »
» III, nos 6 et 4	» » = 0.30 »
» IV, nos 3 et 2	» » = 0.17 »
» V, no 1	» » = 0.09 »
» VI, nos 7 et 5	} carbone . . . . . = 0.39 » soufre . . . . . = 0.36 »

a) *Recuit et refroidissement lent.* — GROUPE I. — Teneur moyenne en carbone = 0.87 %. — Quand elle est essayée à des températures en dessous de 750° C., la matière devient plus fragile.

Seulement quand le recuit est poussé à 850° C. et au-delà, il semble produire une amélioration.

GRUPE II. — Teneur moyenne en carbone = 0.47 %. — La résistance aux chocs dans ce cas est toujours réduite, excepté en réchauffant à 850° C. Autrement, si la matière n'est chauffée qu'à 350° C. ou recuite jusque 1200° C., l'effet est nuisible.

GRUPE III. — Teneur moyenne en carbone = 0.30 %. — Le recuit à toute température au-dessous de 1000° C. doit être évité. En recuisant jusque ou au-delà de cette température, la qualité semble être améliorée.

GRUPE IV. — Teneur moyenne en carbone = 0.17 %, et

GRUPE V. — Teneur moyenne en carbone = 0.09 %. — Ils suivent la même règle que le groupe III.

GRUPE VI. — Teneur moyenne en carbone = 0.39 % et en soufre = 0.36 %: — Au moyen du réchauffage et du recuit à l'une ou l'autre température respectivement mentionnée dans le tableau, la qualité est sensiblement améliorée.

Pour autant que les chiffres obtenus permettent de le dire, les résultats ci-dessus persistent indépendamment de toute différence dans la température des essais, que ceux-ci s'effectuent sur les éprouvettes normales ou entaillées, en d'autres termes, indépendamment des différents modes d'essais indiqués dans le programme de la présente série.

*b) Trempe dans le plomb, l'huile et l'eau.* — Préalablement à la trempe, soit au plomb, à l'huile ou à l'eau, les éprouvettes étaient, sans exception, recuites jusque 850° C.; la température des liquides trempants était respectivement de + 550°, + 80° et + 20° C. Quand les éprouvettes étaient trempées dans l'huile ou dans l'eau, elles étaient ensuite soumises à un nouveau recuit jusque 550° C.

Le recuit se montre toujours effectif en augmentant la résistance aux chocs, tandis que, sous le rapport de l'efficacité des milieux trempants respectifs, la trempe au plomb a été trouvée relativement non effective, avec l'huile, plus effective et, avec l'eau, de beaucoup la plus effective.

---

Ce mémoire n'a donné lieu, faute de temps, à aucune discussion au Congrès.

---

*Le traitement correct de l'acier.*

Ce mémoire, de M. C.-H. RISDALE, mériterait, par son importance, d'être reproduit textuellement; il pourrait être difficilement résumé. Nous nous bornerons à donner l'indication des points traités et nous la ferons suivre d'un aperçu de la discussion à laquelle il a donné lieu au Congrès.

**Remarques préliminaires.** — Bien que nous soyons encore loin de connaître en détail les causes qui peuvent produire dans l'acier un certain état, on a cependant beaucoup appris dans ces dernières années. Mais cette connaissance n'est pas suffisamment utilisée dans la pratique.

**Objet du mémoire.** — L'auteur entreprend d'abord de décrire, en termes simples et pratiques, l'état des connaissances acquises à ce jour et de faire connaître dans quelle direction les principes doivent être appliqués industriellement. Il émet ensuite certaines vues personnelles et cherche à provoquer à leur sujet l'information et la discussion.

**L'influence, sur les propriétés finales de l'acier, de la composition et du traitement initial, comparée avec celle du traitement subséquent.**

a) *Considérée d'une façon générale.*

L'importance de la composition en dehors de la question du traitement a été exagérée. Le dernier traitement influe souvent davantage que la composition et le traitement initial, et le fabricant ne peut rien prévoir contre ce fait. Des essais de torsion rapportés montrent que la dureté du laminage l'emporte dans un acier à 0.15 %

de carbone et 0.40 % de manganèse; tandis que l'acier le plus pur et le meilleur devient mauvais quand le traitement n'est pas convenable et est irrégulier, l'acier impur se maintient dans de bonnes conditions relatives si le traitement est approprié.

L'acier américain contient jusque 0.10 et même 0.12 % de phosphore et s'il est obtenu par le procédé « acide », jusque 0.10 % et même plus de soufre, tandis que l'acier doux renferme jusque 0.15 % de carbone et même davantage.

L'acier allemand, aussi, contient, quelquefois, presque 0.10 et même 0.14 % de phosphore, mais il est souvent d'une teneur moindre en carbone, soufre et phosphore que le précédent.

Une légère différence de composition chimique est insuffisante pour produire un effet appréciable, à moins que le traitement ne diffère également.

b) *Dans la pratique, les procédés de fabrication sont-ils appliqués de façon à fournir le meilleur acier possible ? N'existe-t-il pas, au contraire, une tendance à détériorer le produit en le finissant ?*

Une grande quantité d'acier est achevée par divers industriels sans aucun souci d'altérer les qualités du métal, la seule préoccupation étant de le façonner au moins de frais possible. L'emploi d'une mauvaise qualité de métal pour des objets ne comportant pas des essais ou pour des travaux où le fer est principalement utilisé, et d'autres causes encore, tendent à développer des défauts et compromettent le tout; l'industriel attribue rarement la défectuosité des produits à l'irrégularité de son traitement, mais rejette la responsabilité sur le fabricant.

**Le fabricant peut-il faire mieux qu'à présent ? Et, d'autre part, vaut-il la peine que les industriels consommateurs se préoccupent de la question et étudient le caractère de chaque acier ?**

Le fabricant peut fournir la composition la plus convenable quand il connaît les procédés du traitement que l'acier doit subir; mais un degré légèrement supérieur de pureté qu'on pourrait atteindre, et qui aurait pour effet d'augmenter le coût de la production, n'améliorerait pas la qualité autant que les moyens dont dispose le consommateur, en étudiant le caractère de chaque acier et en le traitant convenablement.

### Les états de l'acier traité à différentes températures.

Le point critique est celui d'égale dureté du grain et du ciment. Il est probablement d'environ 1,000° C. pour l'acier doux, c'est-à-dire, rouge-orange ou rouge-brillant, et plus bas pour les aciers à forte teneur en carbone.

Le métal se refroidit pendant le travail, la plasticité du ciment devient rapidement moindre par rapport à celle des grains jusqu'à ce qu'il atteigne la *chaleur bleue* ou le minimum de plasticité, vers 316° à 371° C.

Les grains adhèrent alors si fortement que si l'on tente de modifier la forme de la matière, soit par le travail ou par toute autre cause, l'effort ne pénètre pas uniformément dans la masse et donne lieu à des tensions internes.

Quand la température, pendant le travail, est descendue au jaunepaille (250° C.) et jusqu'à ce que le métal soit réellement froid, vers 15° C), ce dernier devient plus plastique qu'à la chaleur bleue. A de plus basses températures encore, il devient de nouveau plus dur.

### Exemples de procédés et de traitements que l'acier subit dans la pratique actuelle, avec les modifications que les principes scientifiques semblent suggérer.

#### A. — TRAITEMENT PAR LE FABRICANT.

*Laminage des lingots.* — Température finale de la matière avant que celle-ci ne soit réchauffée pour supporter un nouveau traitement.

*Rails.* — Les sections moyennes tendent à finir à point, les lourdes sections trop chaudes, les petites trop froides.

*Poutrelles, etc.* — Les températures de finissage sont réglées par les essais requis.

*Tôles.* — Même observation.

*Barres qui doivent être cisailées à froid avant d'être réchauffées.* — Celles-ci doivent être finies encore bien chaudes et non refroidies en aucune façon.

#### B. — TRAITEMENT PAR LE CONSOMMATEUR.

*Laminage après réchauffement.* — Réchauffer aussi rapidement qu'il est pratiquement possible dans toute la masse, mais en évitant

de le recuire (*soaking*) s'il y a quelque retard. Eviter de brûler le métal ou de le sur-recuire. Les meilleures températures ne peuvent être déterminées que par expérience.

*La forge.* — Les pièces de forge doivent être travaillées pendant qu'elles sont assez chaudes pour que l'effort pénètre la masse. Des efforts résultant d'un chauffage inégal ou partiel peuvent être annulés en recuisant sans travail. Les forgeages au pilon, qui sont souvent finis trop chauds doivent être réchauffés pour détruire le grain.

*L'atelier du forgeron.* — Forgeages et soudages. — Eviter de finir à de basses températures. Les parties chauffées pour souder sans être travaillées ensuite, doivent être réchauffées. L'emploi d'un fondant s'explique par la nécessité d'avoir les surfaces de contact des pièces à souder bien propres.

*Tubes.* — Il est difficile d'éviter les brûlures ou les recuits exagérés quand on fait des tubes minces.

*Cylindres et autres objets soudés.* — Quand une partie seulement est chauffée au soudant pour être travaillée, ces objets doivent être réchauffés.

*Fortes tôles.* — Il faut éviter que les efforts ne se développent pendant le pliage, la confection de rebords, etc.; pour cela le travail doit être fini quand la pièce est encore suffisamment chaude ou bien elle doit être recuite.

*Tôles fines, etc.* — Influence nuisible d'un recuit prolongé et à une trop haute température. Raies et dentelures inégales; celles-ci sont dues à des substances étrangères introduites par le laminage.

Les *bandes* pour étampage et laminage à froid doivent être finies à chaud ou mieux recuites.

Les *bandes* pour tubes soudés doivent être laminées à de basses températures.

Les *feuillards* ont une tendance à se surchauffer quand ils sont en minces sections.

*Verges et fils.* — Eviter la dureté par un refroidissement lent dans les masses et éviter le refroidissement local par des objets froids; la tendance est d'étirer par des passes sans recuit.

*Fil galvanisé.* — La fragilité ou la dureté y est souvent produite par le traitement, surtout dans les pièces de grandes dimensions.

*Dureté de décapage.* — Elle est due à la présence de l'hydrogène et peut être éliminée par le chauffage. Des vésicules de décapage se distinguent des autres, qui sont essentiellement de la faute des fabricants d'acier et non de celle du consommateur de l'acier.

La *galvanisation* donne en général une plus grande fragilité aux objets.

L'*étirage à froid* ou le laminage a un effet durcissant très marqué et il produit parfois une grande fragilité. La matière destinée à ce traitement doit être aussi douce que possible, préférablement recuite.

### Les essais requis.

Un tableau des défauts et de leurs manifestations ; par quoi ils sont produits ; leur cause probable et les essais pour les identifier.

### *Discussion au Congrès.*

M. J.-E. STEAD fait remarquer d'abord que M. Risdale a travaillé pendant un grand nombre d'années à la détermination de la cause de la fragilité de l'acier. Il a fait ressortir d'une façon très claire l'énorme influence que le traitement auquel l'acier était soumis exerce sur ses propriétés finales. Il a montré qu'en travaillant la matière à une température peu élevée (qu'il a appelée la « chaleur bleue »), et aussi en la chauffant dans un fourneau, pendant longtemps à une température relativement basse, on accroissait la fragilité et la dureté. Ces observations sont très importantes. Le fait qu'en réchauffant à nouveau la matière qui avait été rendue mauvaise ou de qualité inférieure par un traitement mal approprié dans une première opération, on lui restituait sa bonne qualité, est également d'un haut intérêt. C'est un point sur lequel il a insisté lui-même en d'autres circonstances. Il pourrait ajouter incidemment que très souvent les parties que l'on réunit par la soudure sont très notablement surchauffées, d'où développement d'une structure cristalline.

M. Risdale a signalé l'influence que le grain cristallin avait sur la résistance; sur la machine d'essai on ne trouve pas de différence entre une structure grossière et une cristalline. Par la tension graduelle, on obtient un bon allongement et une résistance convenable, mais, sous l'action de la chute d'un poids, le métal se brise net. Les résultats ne sont pas dus à des dépôts intergranulaires, mais à de véritables fractures de clivage.

En ce qui concerne les bulles que l'on rencontre dans les tôles soumises au décapage, la question est encore obscure. Si le liquide décapant ne pénètre pas à l'intérieur de l'acier, comment se développe-t-il du gaz à l'intérieur? Si le liquide peut pénétrer à l'intérieur

et y développer du gaz, on doit se demander pourquoi le gaz ne passerait pas là où le liquide a passé? M. Stead reconnaît que la théorie de M. Risdale, relativement à ce phénomène, est très ingénieuse, mais on ne peut l'admettre qu'avec quelque réserve.

M. ANDREW Mc WILLIAM constate la tendance de l'auteur, à donner à la composition une importance très secondaire. Ce n'est certainement pas l'opinion de M. Risdale, mais il convient de rappeler que la composition chimique de la matière est certainement la question fondamentale ; on ne doit pas oublier non plus que le traitement a un effet également puissant.

Répondant aux observations présentées, M. RISDALE déclare qu'un réchauffage n'est pas toujours suffisant pour restaurer un métal. Dans une partie de son mémoire, il recommande de chauffer les soudures et de réchauffer aussi toute pièce qui aurait été travaillée et chauffée seulement en partie.

Il est d'accord avec M. Mc William pour dire que la composition chimique est l'élément fondamental pour autant que le traitement soit normal. On peut avoir une différence considérable en composition par rapport à ce qui est ordinairement spécifié sans que les propriétés mécaniques en soient très affectées, mais ce qui pourrait paraître n'être qu'une légère variation dans le traitement produirait de très grands changements mécaniques.

---

*Une investigation du spectre des flammes à différentes périodes du soufflage du Bessemer basique.*

---

L'ensemble de ce travail, présenté au Congrès par MM. les professeurs HARTLEY, de Dublin, et HUGH RAMAGE, de Cambridge, est basé sur plusieurs investigations préalables faites par l'un des auteurs, publiées dans les *Philosophical Transactions* de la Société Royale, de 1894, sous le titre général de : *Spectres de la flamme à de hautes températures* (HARTLEY).

Des résultats ayant rapport aux phénomènes spectroscopiques et à la thermo-chimie du procédé Bessemer acide, d'après les études faites aux usines de Crewe du L. & N. W. Railway, ont déjà été communiqués à l'Institut du fer et de l'acier. La présente communication traite du procédé basique, tel qu'il est pratiqué aux aciéries du North-Western, à Middlesborough.

### **Exposé général des résultats.**

Vingt-six plaques ont été développées avec cent quarante spectres, observés à des intervalles d'une minute d'exposition, pendant les différentes périodes du soufflage, au moyen d'un spectrographe imaginé à cette fin et qui a été décrit dans le *Journal de l'Institut du fer et de l'acier* (1895). Les photographies des flammes et des fumées étaient obtenues au moyen d'une chambre Auschütz munie d'une lentille Goertz. Les observations étaient rendues difficiles, par suite de la grande quantité de poussière de chaux soufflée dans l'air. Les résultats spectroscopiques sont complètement différents de ceux obtenus antérieurement. D'abord le spectre continu était beaucoup plus fort et apparaissait dès le commencement du soufflage ; en second lieu, les fortes bandes de manganèse font défaut ou sont notablement réduites en nombre et en intensité ; en troisième lieu, beaucoup de lignes et de bandes nouvelles au spectre de la flamme du Bessemer furent observées en plus du spectre de métaux alcalins, du fer et du manganèse. Ainsi, le rubidium, le césium, le calcium, le cuivre, l'argent et le

gallium ont été identifiés. Des analyses chimiques très soignées de la fonte, des minerais, du calcaire, de la chaux, des scories, de la poussière du carneau et de l'acier fini ont été faites et leurs éléments constituants ont été notés pendant tout le cours du travail. Les bases étaient dans chaque cas séparées et leur identité était établie par l'examen spectroscopique.

Aucune indication malheureusement n'a pu être obtenue en ce qui concerne la quantité de phosphore dans le métal. Le plus grand intérêt néanmoins, est attaché à la connaissance qui a été donnée de la flamme du spectre sous certaines variations de température et de la présence de beaucoup d'éléments rares en minimes proportions dans les minerais et les minéraux communs.

### **Description du soufflage et du sursoufflage dans le procédé Bessemer basique.**

Le convertisseur est d'abord chargé d'environ deux tonnes de chaux en morceaux, puis de 12 tonnes de métal mélangé, *mixer metal*, c'est-à-dire un mélange de métal venant directement du haut-fourneau et de fonte fondue au cubilot. Le vent est soufflé et la cornue est ramenée dans la position verticale.

Le soufflage peut être divisé en trois périodes. La première finit quand la flamme cesse, indiquant que le carbone a été brûlé. La seconde période finit quand la cornue est renversée pour prendre un échantillon du métal et que la scorie est expulsée. On ajoute ensuite de la chaux et le soufflage est encore continué pendant quelques secondes pour compléter l'expulsion du phosphore : c'est la troisième période. La durée moyenne de la première période est de 12 minutes 20 secondes et celle de la seconde de 5 1/2 minutes.

Le soufflage commence par expulser une grande quantité de poussière de chaux qui cache tout à la vue pendant une minute ou deux et couvre l'appareil et les observateurs. Une flamme apparaît à l'embouchure du convertisseur aussitôt que le nuage de poussière s'est dissipé; celle-ci a une couleur jaunâtre ou rouge-jaunâtre. La flamme augmente rapidement en hauteur et reste claire, comme dans le procédé acide, jusqu'à ce qu'elle cesse, et la seconde période commence. Dans celle-ci, la flamme est très courte et une grande quantité de fumée est expulsée de la cornue; la flamme devient plus longue et la quantité de fumée augmente à mesure que le soufflage avance.

Une flamme de spectre était ordinairement prise en donnant la même durée d'exposition à chaque spectre de la série, jusqu'à ce que la flamme cessât; deux autres expositions étaient de plus faites sur la flamme du sursoufflage.

Le spectre augmente en intensité à mesure que le soufflage avance dans la première période, et cela ne peut provenir que d'une augmentation correspondante dans la température du bain de métal et de la flamme.

Par suite de la lumière réfléchie d'une grande quantité de poussière blanche et de fumée, on ne pouvait obtenir d'image bien nette qu'en travaillant à la soirée, quand le soleil était très bas ou après qu'il était couché.

Une grande difficulté fut rencontrée dans l'identification de quelques unes des lignes et bandes. La dispersion comparativement grande dans la portion moins réfrangible des raies verte et rouge faisait que les lignes et les bords des bandes étaient difficiles à distinguer dans le fort spectre continu. Dans d'autres cas, on observait des lignes qui n'avaient pas été auparavant constatées dans un spectre de flamme.

### Conclusions.

#### I. — *Les phénomènes du soufflage Bessemer « basique » diffèrent considérablement de ceux du procédé « acide ».*

D'abord, une flamme est visible depuis le commencement du soufflage, ou aussitôt que le nuage de poussière de chaux a été dispersé. Les auteurs en concluent que la production immédiate de cette flamme est occasionnée par des matières contenant du carbone dans le revêtement de la cornue; que son éclat est dû en partie à la volatilisation des alcalis et à l'incandescence de poussière de chaux entraînée par le vent.

En deuxième lieu, la volatilisation du métal se produit en plus grande quantité à une période précoce du soufflage, et est due à la différence dans la composition du métal soufflé, principalement à la plus petite quantité de silicium. Il n'y a pratiquement parlant pas de période distincte quand les scories siliceuses sont formées dans le procédé « basique », et les métaux sont volatilisés promptement dans l'atmosphère réductrice, riche en oxyde de carbone.

Troisièmement, une très grande quantité de fumée est formée vers

la fin de la seconde période. Ceci provient de ce que l'oxydation du métal et du phosphore dans le phosphure de fer produit une haute température, hormis peu ou pas de carbone restant. La flamme est comparativement courte et les vapeurs métalliques entraînées sont brûlées par le vent.

Quatrièmement, le sursoufflage est caractérisé par une très puissante illumination dans laquelle apparaît une flamme jaune brillante; une fumée dense est produite en même temps, composée de vapeurs métalliques oxydées, principalement de fer. Ces particules sont indubitablement de très petites dimensions, comme il est établi par le fait qu'elles dispersent la lumière qui tombe sur elles, et le nuage projette une ombre brune, et, par un temps calme, elles s'élèvent à une très grande hauteur. Le spectre est continu mais ne s'étend pas au delà d'une longueur d'onde de 4000. Ceci indique que la source de lumière est à une température relativement basse, approchant de celle d'une chaleur blanche-jaunâtre. En conséquence, la lumière émane d'un torrent de petites particules, liquides ou solides, à une température blanche-jaunâtre. La flamme ne peut avoir qu'un faible pouvoir réducteur à cette période, et cela, de même que sa basse température, explique les très faibles lignes de lithium, de sodium, de potassium et de manganèse qu'on voit dans les photographies ou par l'observation directe.

Cinquièmement, les spectres des flammes, dès la première période du procédé basique, diffèrent de ceux du procédé acide en plusieurs particularités. Les bandes de manganèse sont relativement faibles et les lignes d'éléments non ordinairement associés avec le métal Bessemer se rencontrent. Les charges de métal et de matière basique y contribuent toutes deux. Le lithium, le potassium, le sodium, le rubidium et le cæsium ont été amenés principalement par la chaux; le manganèse, le cuivre, l'argent et le gallium par le métal. D'autres métaux, tels que le vanadium et le titane n'ont pas été mis en évidence, parce qu'ils n'affectent pas le spectre de la flamme; ils passent, avec le chrome, dans les scories à l'état oxydé.

## II. — *Différences de l'intensité dans les lignes métalliques.*

L'intensité des lignes de métal varie avec la quantité de celui-ci dans la charge, mais, dans quelques cas, des variations d'intensité se produisent dans les lignes d'un métal, ainsi qu'il a été observé dans les spectres photographiés à Crewe en 1893; ceci est spécialement le

cas avec quelques lignes dans le spectre visible du fer. Ces variations sont dues à des changements dans la température; quand la température de la flamme s'élève, quelques lignes disparaissent à peu près, d'autres deviennent plus intenses. De semblables changements sont plus marqués dans le spectre de l'arc et encore plus dans le spectre de l'étincelle de fer. Les lignes de potassium et les bords des bandes de manganèse ont été reconnus avoir été intensifiés par la proximité des lignes de fer dans certains cas, mais ceci est sans doute le résultat d'une faible dispersion. Les deux lignes violettes du rubidium coïncident presque avec les deux lignes du fer.

III. — *Découverte d'une nouvelle ligne de potassium  
d'intensité variable.*

Cette ligne, d'une longueur d'onde approximative de 4642, varie en intensité dans des limites assez larges. Dans une flamme donnée, son éclat augmente avec la diminution de vapeur métallique; ceci ne paraît pas dépendre tout à fait de l'affaiblissement du spectre continu qui accompagne la ligne spectrale du potassium; les expériences faites avec divers sels de potassium, montrent que le fait est dû probablement, en partie au moins, à l'augmentation de liberté de mouvement permise aux molécules du métal.

---

Ce mémoire, dont nous n'avons donné qu'un très court résumé, n'a donné lieu, faute de temps, à aucune discussion au sein du Congrès.

---

## Les Mines.

---

*Généralités géologiques et statistiques sur les bassins houillers d'Ecosse. — Les houilles du calcaire carbonifère et les schistes pétrolifères du Lothian.*

---

Les deux communications de M. CADELL, que nous avons seulement signalées dans notre premier article, constituent une étude stratigraphique approfondie de la contrée qui s'étend aux environs de la ville d'Edimbourg, c'est-à-dire du Lothian ouest et du Lothian central (*West & Mid-Lothian*).

Cette étude, très consciencieuse, est fort instructive pour les personnes qui auraient intérêt à connaître tout particulièrement cette région; mais elle est aussi très étendue. Nous nous contenterons de l'analyser dans ses parties qui ont un intérêt plus général, de façon à donner une idée des ressources minérales de cette région, renvoyant pour les détails au travail original.

Nous croyons utile de faire précéder cette analyse de quelques généralités sur l'Ecosse et notamment sur ses bassins houillers.

### GÉNÉRALITÉS SUR LES BASSINS D'ÉCOSSE

Dans sa constitution physique, au point de vue tant géologique qu'orographique, l'Ecosse se compose de deux massifs anciens de hautes terres, les *Highlands* au Nord et les *Uplands* au Sud, formés de roches métamorphiques, cambriennes et surtout siluriennes, et séparés par une dépression remplie de roches, relativement plus récentes, des formations dévoniennes et carbonifères. Les formations crétacées et tertiaires sont assez peu représentées. Par contre, de nombreux massifs plutoniens sont disséminés dans tout le pays.

La susdite dépression, parallèle aux deux grandes lignes de soulèvements qui forment les hautes terres et notamment à celle dite des *Grampian mountains* qui traverse les Highlands diagonalement du Sud-Ouest au Nord-Est, occupe la partie rétrécie du pays, située entre l'estuaire du Forth à l'Est, et celui de la Clyde à l'Ouest.

C'est là que se trouvent les principales richesses minérales de l'Ecosse

et notamment celles en charbons et en huiles minérales. C'est aussi de beaucoup la partie la plus active et la plus peuplée, ayant à chacune de ses extrémités, respectivement sur les deux estuaires signalés, les grandes et belles villes d'Edimbourg et de Glasgow.

Les bassins houillers d'Ecosse fournissent environ 1/7<sup>me</sup> de la production totale du Royaume-Uni. Voici, d'après les statistiques des inspecteurs des mines, les chiffres de la production en tonnes anglaises (1,016 kilog.), des cinq dernières années du XIX<sup>e</sup> siècle :

	PRODUCTION	
	de l'Ecosse.	du Royaume-Uni tout entier.
1896 . . . . .	28,327,000	195,361,000
1897 . . . . .	29,083,000	205,130,000
1898 . . . . .	30,237,000	202,055,000
1899 . . . . .	31,143,000	220,085,000
1900 . . . . .	33,112,000	225,170,000

En 1901, la production a été :

Pour l'Ecosse, de . . . . . 32,796,510 tonnes.

Pour la totalité du Royaume-Uni, de. 219,037,240 id.

La production en schistes bitumineux ou pétrolifères a été, en 1900, de 2,280,000 tonnes, représentant une valeur de 14,750,000 francs.

La production a atteint le chiffre de 2,350.000 tonnes, en 1901.

Considérées d'une façon générale, les formations houillères de l'Ecosse ne constituent qu'un seul bassin, occupant *grosso modo* le milieu de la dépression dont nous venons de parler.

Mais, par suite des mouvements géologiques nombreux dont cette contrée a été l'objet à diverses époques, par suite aussi d'accidents géographiques, tel l'estuaire du Forth, cette grande formation s'est divisée en un assez grand nombre de bassins plus ou moins séparés et d'importance fort diverse, dont les six principaux sont :

- Le bassin de la Clyde;
- » d'Ayrshire;
- » de Clackmannan;
- » de Fifeshire;
- » des Lothian et d'Haddington;
- » de Lesmahago.

Le tableau suivant donne, par comtés, la production, la valeur totale et la valeur à la tonne des charbons en 1900 :

COMTÉS	EXTRACTION — (Tonnes anglaises)	VALEUR TOTALE — (Livres st.)	VALEUR, DE LA TONNE — (Sh.)
Argyll et Dumfries . . . . .	155,589	79,091	10.2
Ayr . . . . .	4,042,509	2,054,942	10.2
Clackmannan . . . . .	424,696	233,583	11.0
Dumbarton . . . . .	535,981	301,489	11.3
Edimbourg . . . . .	1,329,495	731,222	11.0
Fife . . . . .	5,419,373	2,980,655	11.0
Haddington . . . . .	464,755	255,615	11.0
Kinross . . . . .	35,762	21,319	11.0
Lanark . . . . .	17,174,247	9,445,835	11.0
Linlithgow . . . . .	1,184,092	651,251	11.0
Peebles . . . . .	650	357	11.0
Renfrew . . . . .	13,104	6,224	9.6
Stirling . . . . .	2,322,676	1,290,949	11.1
Sutherland . . . . .	6,175	3,396	11.0
TOTAUX . . . . .	33,112,104	18,055,928	10.11

Réduits en mesures métriques, ces chiffres deviennent :

Production : 33,642,000 tonnes de 1000 kilos;

Valeur : 451,400,000 francs;

Valeur moyenne de la tonne de 1000 kilos : 13-50 fr. environ.

La population ouvrière occupée à l'exploitation de ces mines de houille a été :

Au fond . . . . . 85,132 ouvriers

A la surface . . . . . 18,675 »

Total . . . . . 103,807 »

L'effet utile annuel a donc été, par ouvrier du fond, de 395 tonnes de 1,000 kilog.; et, par ouvrier du fond et du jour, de 324 tonnes.

A titre de comparaison, rappelons qu'en Belgique les chiffres correspondants de l'effet utile ont été respectivement, pendant la même année 1900, de 234 et 173 tonnes.

En 1901, la production des mines de houille de l'Ecosse a été, comme il a été dit plus haut, de 32,796,510 tonnes anglaises, soit de 33,311,000 tonnes de 1,000 kilog.

Le nombre d'ouvriers a été :

Au fond . . . . . 88,448

A la surface . . . . . 19,509

Total. . . . . 107,957.

L'effet utile a donc été, en 1901, un peu moindre qu'en 1900, soit de 377 tonnes (de 1,000 kilog.) par ouvrier du fond et 309 tonnes par ouvrier du fond et du jour.

Le faisceau houiller exploitable et exploité en Ecosse se compose de deux groupes distincts. L'un, le plus important, est constitué par le terrain houiller proprement dit, par ce que l'on appelle plus spécialement en Angleterre les *coal measures*, qui correspondent à l'étage dit *westphalien* ou à l'étage *houiller avec houille*.

Ce groupe de couches, qui a pour limite inférieure le grès poudingiforme appelé *millstone grit*, donne lieu aux exploitations les plus considérables. Les couches ont de 0<sup>m</sup>60 à 1<sup>m</sup>80 de puissance et se rencontrent généralement en plateaux à inclinaison faible et relativement régulières, mais interrompues par des failles assez nombreuses et des éruptions de matières ignées.

Mais là ne s'arrête pas la richesse minérale de la formation carbonifère. Sous ce grès et après quelques bancs de calcaires se retrouvent des couches exploitables d'excellente qualité, accompagnées de plusieurs bancs de minerais de fer qui ont donné lieu à d'importantes industries.

Ce n'est pas tout encore : sous ce faisceau inférieur se développent, dans certaines parties de l'Ecosse, une succession de couches de schistes bitumineux (*oil shales*), qui sont exploitées pour les huiles minérales qu'elles contiennent.

Ajoutons, pour être complet sur la série carbonifère, que sous ces schistes bitumineux se trouvent encore des assises importantes mais ne contenant, cette fois, plus de substances minérales utilisables sinon comme matériaux de construction.

Dans la contrée au Sud de la ville d'Edimbourg, ces assises sont les suivantes : 500 mètres environ de schistes quartzeux dits *Wardie shales*; puis, plus bas, les grès dits de *Craigleith* et de *Granton*, soit 4 à 500 mètres environ; puis une certaine épaisseur de roches volcaniques interstratifiées qui forment le rocher connu à Edimbourg sous le nom d'*Arthur Seat*, et enfin, des marnes verdâtres, des schistes, du grès et des conglomérats rougeâtres reposant sur le *vieux grès rouge* dévonien supérieur.

Les communications de M. Cadell concernent spécialement les deux étages inférieurs du carbonifère exploitable, qui se rencontrent dans le West et Mid-Lothian, à savoir : les couches de houille et de minerais de fer intercalées dans les calcaires sous le *Millstone grit* et les schistes pétrolifères sous-jacents. Nous allons les analyser successivement :

#### LES COUCHES DU CALCAIRE CARBONIFÈRE.

Le bassin du West-Lothian a pour limite Nord l'estuaire du Forth, sous les eaux duquel les exploitations ont été poussées, près de la

ville de Borrowstounness ou Bo 'ness. Il s'étend sur une vingtaine de kilomètres dans la direction du Sud, jusqu'au delà de Blackburn.

Le gisement est surtout important dans les environs mêmes de Bo'ness où le faisceau se montre au complet. Plus au Sud des interstratifications de roches ignées et volcaniques, que l'on trouve déjà au Nord et qui caractérisent cette région, deviennent plus nombreuses, au détriment des stratifications carbonifères et des couches de houille elles-mêmes. Il en résulte de grandes différences dans la composition des gisements, d'où certaines difficultés pour la synonymie des couches. Le travail de M. Cadell a précisément pour but d'établir la synonymie entre les couches exploitées à Bo'ness et celles exploitées plus au Sud, à Bathgate et à Blackburn.

Ce faisceau carbonifère a pour terme supérieur un banc de calcaire appelé *calcaire de Levenseat*, qui est immédiatement sous-jacent au *Millstone Grit*, et, pour terme inférieur, le *Calcaire de Hurlet*, parfois accompagné d'une couche de houille dont le charbon est généralement de qualité médiocre. Le calcaire de Hurlet forme l'horizon séparatif de ce faisceau avec celui sous-jacent qui contient les couches pétrolifères et dont nous parlerons plus loin.

L'épaisseur de la stampe entre le calcaire de Levenseat et le calcaire de Hurlet varie de 550 à 650 mètres.

Le faisceau principal des couches exploitées se trouve vers le milieu de cette stampe, encadré par six bancs de calcaires, trois au dessus et trois en dessous. Les trois bancs de dessus sont, en descendant dans la série, successivement le calcaire de *Levenseat*, le calcaire de *Dyheneuk* et le calcaire *Index* (*Index limestone*). Les trois bancs inférieurs sont ceux de *Carriden*, de *Hosie* et enfin de *Hurlet*.

Le gisement minier dont nous nous occupons ne constitue pas à proprement parler un bassin; c'est plutôt un bord de bassin dont les assises inférieures affleurent à l'Est dans le Lothian et qui plonge à l'Ouest sous le Millstone grit et sous l'étage houiller du grand bassin de la Clyde. Les stratifications ont une direction sensiblement Nord-Sud.

Nous nous contenterons dans le présent compte-rendu, de faire connaître la composition de ce gisement là où il est le plus riche et le plus complet, c'est-à-dire dans la région de Bo'ness, où deux charbonnages importants sont en exploitation, celui de *Kinneil* à l'Ouest, exploitant les couches supérieures de la série, et celui de *Bridgeness* à l'est, exploitant les couches inférieures. Voici, résumée d'après le travail de M. Cadell, la coupe du haut en bas des terrains dont il s'agit, avec les épaisseurs des stamper en partant du calcaire de Levenseat, qui forme, avons-nous dit, la base du Millstone grit.

## MILLSTONE GRIT

CALCAIRE CARBONIFÈRE

		Profondeur depuis le calcaire de Levenseat.	Mètres.	Épaisseur des couches de houille.	Mètres.
DIVISION SUPÉRIEURE	}	Calcaire de Craigenbuck ou de Levenseat . . . . .	»	»	»
		Grès et schistes. . . . .	»	»	»
		Calcaire de Dykeneuk ou Calmy	180	»	»
		Grès et schistes avec couches de roches volcaniques et quelques couches munies de houille. . .	»	»	»
		Calcaire Index (1 mètre environ d'épaisseur) . . . . .	210	»	»
		Roches diverses y compris 18 m. de trapp en 2 bancs :			
		<b>Splint coal seam</b> . . . . .	250	0.85	
		<b>Corbiehall c. s.</b> . . . . .	266	0.75	
		Banc supérieur de <i>minerai de fer</i>	285		
		<b>Seven feet c. s.</b> . . . . .	287	1.35	
DIVISION MOYENNE AVEC HOUILLE.	}	Grès et schistes avec 4 layettes de charbon et 2 bancs de trapp d'épaisseur variable.			
		<b>Wester main c. s.</b> en plusieurs sillons. . . . .	338	2.40	
		Trapp . . . . .	»	»	
		<b>Wandering c. s.</b> . . . . .	376	variable	
		Trapp et grès.			
		<b>Red c. s.</b> . . . . .	412	0.90	
		<b>Fire-clay c. s.</b> . . . . .	420	inexpl.	
		Banc inférieur de <i>minerai de fer</i>	443	»	
		<b>Parrot c. s.</b> . . . . .	445	0.60	
		<b>Six feet c. s.</b> . . . . .	447	1.50	
DIVISION INFÉRIEURE.	}	<b>Easter main c. s.</b> . . . . .	462	1.20	
		Schistes et banc de trapp.			
		<b>Smithy c. s.</b> . . . . .	490	0.90	
		Calcaire de Carriden (0 <sup>m</sup> 80). . .	517	0.90	
		Id. du Hosie (0 <sup>m</sup> 90). . . . .	547	»	
	Id. de Hurlet. . . . .	600	»		
				Épaisseur du charbon exploitable. . . .	10.45

Voici, en partant de la couche inférieure et en remontant la série, c'est-à-dire en allant de l'Est à l'Ouest, quelques indications sur les diverses couches.

**Smithy coal seam.** — Cette couche donne un bon charbon à coke, mais elle est souvent impure et les terrains encaissants sont mauvais, ce qui fait qu'elle n'est pas exploitable partout. Elle est exploitée à 310 mètres de profondeur à Kinneil. Elle ne l'est plus dans la région Est.

Voici la composition du charbon de cette couche :

Eau . . . . .	2.80
Matières volatiles . . . . .	30.53
Soufre . . . . .	1.20
Charbon fixe . . . . .	62.37
Cendres . . . . .	3.10
	<hr/>
	100.00

La tonne produit 250 mètres cubes de gaz d'un pouvoir éclairant de 17 bougies.

M. Cadell rapporte à propos de cette couche un fait assez curieux qui s'est produit en 1896, lors du revidage d'un ancien puits.

Ce puits, qui avait été creusé jusqu'à *Smithy*, était rempli d'eau jusqu'à une vingtaine de mètres au dessus de *Easter Main*. En sondant, on trouva le fond du puits quelques pieds au dessous de cette dernière couche.

On se crut naturellement autorisé à croire que les anciens avaient comblé les 30 mètres de puits qui séparent les deux veines, et, après avoir pompé les eaux, on procéda au revidage.

Mais lorsqu'on fut arrivé au niveau de la couche *Easter Main*, le fond du puits céda tout d'un coup et l'on trouva les 30 mètres restants absolument vides et secs.

Il n'y eut heureusement aucun accident, mais les ouvriers coururent un grand danger.

L'explication de ce fait bizarre ne tarda pas à être trouvée. A la profondeur de la couche *Easter Main Coal* un éboulement s'était produit, et, comme le puits était très étroit, les débris s'archoutèrent l'un contre l'autre, et peu à peu, de menus débris s'y ajoutant, et le tout séjournant en cet endroit un demi-siècle dans une eau très calcaire, les terres se soudèrent et formèrent un bouchon hermétique.

Plus tard des travaux pratiqués par un autre puits se portèrent dans ce voisinage et occasionnèrent des fissures par où s'échappèrent

les eaux qui emplissaient le fond de l'ancien puits. L'eau fut remplacée ensuite petit à petit par de l'air plus ou moins pur pénétrant par les mêmes fissures.

**Easter Main** c. s. — C'est une des meilleures de la contrée; aussi a-t-elle été l'objet depuis longtemps d'exploitations; elles étaient déjà très étendues au XVIII<sup>e</sup> siècle.

A l'heure actuelle il ne reste plus à exploiter que sous le Forth.

Son épaisseur varie de 1<sup>m</sup>00 à 1<sup>m</sup>30; elle a un toit excellent.

La composition de son charbon est la suivante :

Eau . . . . .	1.60
Matières volatiles . . . . .	31.21
Soufre . . . . .	0.52
Charbon fixe . . . . .	65.09
Cendres . . . . .	1.58
	<hr/>
	100.00

Une tonne de 1,000 kilos produit 665 kilos de coke d'excellente qualité et 300 mètres cubes de gaz d'un pouvoir éclairant de 18 bougies,

La couche **Six feet** est formée de plusieurs banes de bon charbon, mais séparés par de nombreux sillons terreux qui la rendent souvent d'une exploitation peu avantageuse et nécessitent, en tout cas, un lavage et un nettoyage soignés.

La couche **Parrot**, très voisine de la précédente était, il y a un demi-siècle, une des plus importantes du bassin.

Les banes de *minerais de fer carbonaté* qui l'accompagnent ont été pendant longtemps exploités en même temps et ont approvisionné de minerai des hauts-fourneaux aujourd'hui disparus.

Actuellement, on ne déhouille plus, sous le Forth, qu'une laie de cette couche, qui est formée d'un excellent charbon à gaz (*cannel coal*).

Voici la composition de ce *cannel coal*, telle qu'elle était il y a un quart de siècle :

Eau . . . . .	1.35
Matières volatiles . . . . .	43.08
Soufre . . . . .	1.47
Charbon fixe . . . . .	49.70
Cendres . . . . .	4.40
	<hr/>
	100.00

Dans les parties de couche exploitées aujourd'hui la proportion de matière volatiles n'est que de 33 %.

**Red c. s.** — Comme la précédente cette couche n'est plus exploitée que sous le Forth.

Sa puissance est de 0<sup>m</sup>90 environ ; le toit est très solide.

Elle a cependant donné lieu, il y a quelques années, à un coup d'eau qu'on a cru être une invasion de la mer. Il a été reconnu dans la suite que cette eau provenait d'anciens travaux qu'on est parvenu à démerger presque complètement.

Cette couche est surmontée d'importants bancs de grès et de trapp.

**Wandering.** — Comme son nom l'indique, cette couche, intercalée dans des bancs de trapp, a un caractère très variable ; à cause de cette irrégularité, les efforts qui ont été faits pour l'exploiter ont été accomplis en pure perte, aussi n'a-t-elle qu'un intérêt purement géologique.

**Wester Main c. s.** — Située également entre des bancs de roches volcaniques, cette couche est la plus puissante de la région ; malheureusement, elle ne se maintient telle que sur de faibles étendues ; ailleurs le charbon est remplacé par des schistes bitumineux.

Les parties exploitables paraissent avoir été entièrement épuisées par les anciens. Des affaisements importants prouvent que le déhouillement a été pratiqué sur une grande échelle.

**Seven feet c. s.** — On exploitait autrefois cette veine avec le *minerai de fer* qui l'accompagne. Aujourd'hui on n'exploite plus que la couche elle-même, qui donne un charbon à vapeur de qualité moyenne.

L'existence des couches **Corbiehall** et **Splint** est reconnue, mais elles ne sont pas encore actuellement mises en exploitation, dans le West-Lothian.

On voit par cet exposé que, pour l'estimation de la valeur pratique de ce gisement, il faut beaucoup rabattre de l'épaisseur en charbon exploitable donnée plus haut dans la coupe générale.

#### LES SCHISTES PÉTROLIFÈRES

Le pétrole ne s'obtient pas en Ecosse, comme dans d'autres pays, plus favorisés sous ce rapport, en de vastes réservoirs souterrains d'où il suffit d'un trou de sonde pour le faire jaillir abondamment à l'état liquide et pour ainsi dire prêt à être utilisé. Il se présente ici en

imprégnations dans des bancs de schistes d'épaisseur restreinte qu'il faut arracher de la roche comme le charbon, transporter à la surface et soumettre ensuite à la distillation.

Aussi, fait observer M. Cadell, n'est-ce qu'à force d'ingéniosité et d'habileté technique que l'ingénieur écossais a pu parvenir à conserver à cette industrie une prospérité relative, malgré la concurrence formidable de l'étranger.

Géologiquement, le gisement pétrolifère est situé en dessous de l'étage que nous venons d'étudier et a pour horizon supérieur le même calcaire *Hurlet* qui sert de base au calcaire carbonifère. La puissance moyenne est 900 mètres environ jusqu'aux schistes et grès de *Wardie* que nous avons déjà mentionnés et qui forment une des assises inférieures du terrain carbonifère. Vers le milieu de son épaisseur, l'étage pétrolifère présente un horizon caractéristique : ce sont les *grès de Binny*, en bancs épais, très reconnaissables et exploités en maints endroits comme matériaux de construction. Ils ont servi notamment à l'édification de la plupart des monuments d'Edimbourg.

Plus bas se trouve un banc de calcaire formant également horizon et en dessous duquel, dans la plus grande partie de la contrée, il n'y a plus de couches pétrolifères, c'est le calcaire de *Burdiehouse*.

En un endroit seulement, vers le centre de la région, dans les environs de *Pumpherstons*, il se développe sous ce calcaire une couche pétrolifère ; c'est la couche dite de *Pumpherstons*, qui repose directement sur les schistes de *Wardie*.

Vers le milieu de la stampe comprise entre le calcaire de *Hurlet* et les grès de *Binny*, se rencontre une couche de houille dite *Houston* c. s., qui n'est guère exploitable mais qui constitue un horizon.

Les couches de schistes bitumineux, dites *oil shales* ou simplement *shales*, sont au nombre de six. Elles ont des épaisseurs très variables, depuis 0<sup>m</sup>60 jusqu'à 3 mètres et même 4<sup>m</sup>50.

Les *shales* sont de couleur brun foncé ; ils se distinguent, par une consistance plus grande et une plus grande résistance aux influences atmosphériques, des schistes charbonneux qui les accompagnent et qui sont connus dans le pays sous le nom de *blaes*. Les *blaes* sont généralement friables et se désagrègent rapidement au contact de l'air.

Les *shales* ont l'aspect d'un vieux bois de chêne. Ils sont tendres, compacts et flexibles ; ils se laissent courber et couper au couteau et cèdent sous la dent sans s'émietter.

Voici l'ordre de superposition des diverses couches ou *shales*,

avec leur distance moyenne, en mètres du calcaire de Hurlet :

Calcaire de Hurlet . . . . .	0
<b>Ræburn shale</b> . . . . .	120
<b>Mungals sh.</b> . . . . .	160
Marnes de Houston,	
Houston coal seam . . . . .	220
<b>Fills sh.</b> . . . . .	290
<b>Broxburn sh.</b> . . . . .	360
Grès de Binny.	
<b>Dunnet sh.</b> . . . . .	480
<b>Barracks sh.</b> et calcaire de Burdiehouse.	700
<b>Pumpherstons sh.</b> . . . . .	900
Schistes de Wardie.	

La teneur en l'huile de ces *shales* est variable.

On admet comme riche un schiste de 30 gallons, c'est-à-dire qui produit à la distillation 30 gallons (1) par tonne anglaise de 1,016 kilog., ou 134 litres par tonne de 1,000 kilog.

Mais, il est un sous-produit qui a de l'importance et qui, lorsqu'il est abondant, permet d'exploiter avantageusement des schistes à faible teneur en huile : c'est l'ammoniaque, que l'on neutralise avec de l'acide sulfurique. La fabrication du *sulfate d'ammoniaque*, très employé dans l'agriculture, est ainsi devenue une branche importante de l'industrie de l'huile en Ecosse.

Certains schistes ou *shales* rendent par tonne 50 livres ou 22 kilog. de sulfate. Ce sel valant 20 à 25 centimes par kilog., il est loin de constituer une valeur négligeable dans cette industrie.

On a constaté que, plus profondément, géologiquement, les schistes pétrolifères gisent dans la série, plus forte est la proportion d'ammoniaque par rapport à l'huile. Aussi la couche la plus riche en ammoniaque est-elle celle de Pumpherstons.

Un aperçu de la composition moyenne des schistes pétrolifères est donné par l'analyse suivante faite à la *Broxburn Oil Company* :

Carbone . . . . .	5	
Matières volatiles . . . . .	25	} 12.0 huile brute ; 8.5 eaux ammoniacales ; 4.5 gaz.
Cendres . . . . .	70	
	<u>100</u>	

(1) Le *gallon* a une capacité de 4.54 litres.

L'huile brute est séparée, dans les raffineries, en quatre catégories d'hydrocarbures, de divers degrés de densité et de volatilité; ce sont :

1. Le naphte et les essences légères ;
2. L'huile légère pour l'éclairage ;
4. Les huiles lourdes lubrifiantes ;
4. La résine solide ou la paraffine

Ces produits peuvent encore être subdivisés en une quantité d'autres servant à de multiples usages.

Nous indiquerons plus loin les diverses manipulations que subissent les oil-shales dans les usines écossaises.

Les terrains pétrolifères d'Écosse forment autour de la ville d'Edimbourg une sorte de cercle irrégulier, non fermé au Sud, et résultant d'un anticlinal où affleurent, au centre, les roches siluriennes ; à partir de celles-ci, on trouve successivement, en s'éloignant vers la périphérie, les grès rouges dévoniens (*old red sandstone*), puis les séries carbonifères inférieures, puis les séries pétrolifères bornées par le calcaire de Hurler.

Il s'en faut de beaucoup que tout le pourtour de l'anticlinal ait la même importance au point de vue du gisement qui nous occupe ; nous avons déjà dit que le cercle ne se ferme pas au Sud ; à l'Est, il ne se trouve qu'une zone étroite et de peu d'étendue, dans les environs de *Burdiehouse* et de *Straiton*. Au Nord-Est, l'embouchure du Forth constitue une lacune considérable. Au Nord même, sur la rive Nord du Forth, les schistes bitumineux effectuent bien leur passage sur une assez grande longueur, mais ils ne sont que peu exploités.

De beaucoup, la région où les gisements de pétrole sont les plus importants est celle située à l'Ouest et s'étendant depuis les rives du Forth, dans les environs de *Queensferry*, jusqu'à *Colbinstaw reservoir*, à 23 kilomètres au Sud, en passant par *Ecclesmachan*, *Broxburn*, *Pumpherton*, *Mid- et West-Calder*, etc.

Ce qui complique la stratigraphie de toute cette région ce sont, outre les plissements de roches, les failles nombreuses et importantes qui les rejettent parfois de plusieurs centaines de mètres, et aussi les terrains éruptifs qui les traversent en beaucoup d'endroits ou s'y interstratifient sur de notables étendues.

Nous avons fait connaître plus haut la coupe géologique des terrains pétrolifères, depuis le calcaire Hurler à la tête jusqu'aux roches de *Wardie* à la base. Il est à remarquer que la même série géologique affleure en d'autres endroits que dans la région dont nous nous occu-

pons : les terrains que l'on voit ici s'enfoncer tout autour de l'anticlinal reparaissent en effet à l'Est et à l'Ouest des synclinaux qui se forment ensuite. Mais les caractères bitumineux ont disparu, de sorte que l'on peut dire que c'est dans la région du Lothian que se trouvent les seuls gisements pétrolifères de l'Ecosse.

Voici, en outre des notions générales qui viennent d'être données, quelques particularités relatives aux divers centres d'exploitation :

Nous ferons le tour de l'anticlinal en commençant par le Sud-Ouest, c'est-à-dire par le bassin de *West-Calder*, qui s'étend au Sud jusqu'à Cobbinshaw

Nous y trouvons, directement superposée au calcaire de *Burdiehouse*, une couche dite **Barracksshale**. Cette couche n'est pétrolifère qu'en un nombre restreint d'endroits ; aussi n'a-t-elle pas grande importance.

Il n'en est pas de même de **Dunnetshale**, qui a donné lieu à des exploitations étendues et qui se retrouve presque dans chaque district. C'est une couche puissante, atteignant 3 mètres et même 4<sup>m</sup>50 d'épaisseur. Elle contient parfois 30 gallons d'huile et 25 livres (11 1/4 kil) de sulfate à la tonne ; mais sa teneur en huile est souvent moins élevée.

La couche **Broxburn**, qui vient au-dessus de la couche Dunnet, dont elle est séparée par 120 mètres environ de stampe comprenant le grès de *Binny*, est une couche de première importance en certains points, comme nous le verrons plus loin. Mais dans le district de *West-Calder* elle est moins puissante et moins riche. Son épaisseur ne dépasse pas 0<sup>m</sup>90 et sa teneur en huile, 20 gallons.

Au dessus de la couche Broxburn se trouvent des bancs importants et caractéristiques de marnes, appelées *marnes de Broxburn*. Celles-ci sont composées de bancs verdâtres ou grisâtres d'argiles marneuses, alternant avec des schistes calcareux très durs et non fossilifères.

Le banc supérieur, qui se compose d'un banc de calcaire très caractéristique, gris ou blanc-laiteux, de 0<sup>m</sup>90 à 1<sup>m</sup>50 d'épaisseur, se trouve à peu de distance au mur de la couche **Fells shale**, qui est la plus riche du district.

Le stampe qui sépare *Fells sh.* de *Broxburn sh.* est de 70 à 75 mètres.

La puissance de *Fells* varie de 0<sup>m</sup>85 à 1 mètre, mais elle atteint parfois 2 mètres. Ce schiste produit 28 gallons d'huile et 6 kilog. de sulfate d'ammoniaque par tonne.

*Fells sh.* cesse d'être exploitable dans le district de Broxburn.

En remontant dans la série, on trouve la couche de houille *Houston*; c'est la couche de houille la plus profonde de toute la formation carbonifère, mais son charbon est pyriteux et divisé par des sillons terreux.

Elle a cependant été exploitée autrefois, près des affleurements, avec une certaine activité à ce que prouve des traces nombreuses d'anciens puits. A notre époque, elle n'est plus travaillée que lorsque les charbons atteignent des prix excessifs.

A 15 mètres environ au-dessus de cette couche, se rencontre un schiste pétrolifère insignifiant au point de vue industriel, appelé **Gray sh**; et, immédiatement au-dessus, les stratifications très caractéristiques appelées *marnes de Houston*.

Ces *marnes*, très peu calcaireuses et passablement siliceuses, vertes ou rougeâtres, amorphes, dures à l'état frais, friables après exposition à l'air, sont subdivisées en bancs de quelques pieds d'épaisseur, séparées par un ciment plus résistant qui fait saillie sur l'ensemble après un certain temps de météorisation.

L'épaisseur totale de ces *marnes* est de 45 à 60 mètres.

La couche **Mungals sh.** est une petite couche de 0<sup>m</sup>60.

40 mètres plus haut nous trouvons **Raeburn sh.**, la couche pétrolifère la plus élevée dans la série. Cette dernière couche a une épaisseur de 1<sup>m</sup>50 à 1<sup>m</sup>80.

Elle a été exploitée à West-Calder et à Tarbrax, au Sud de Cobbinshaw.

Au-dessus viennent des *blaes* avec des rognons de siderose, puis des grès et parfois des sillons charbonneux et un banc de minerai de fer qui a été quelquefois exploité sur une petite échelle et qui se trouve 25 mètres environ sous le calcaire de Hurlet.

*Schistes de Pumpherston.* — Au Nord de la région que nous venons de considérer, un peu au Nord de la ville de Mid-Calder et de la Rivière Almond, on constate un anticlinal allongé du Sud au Nord. C'est là que se trouvent les schistes pétrolifères de **Pumpherston**, les plus profonds de la série et situés à plus de 200 mètres sous le calcaire de Burdichouse. Leur affleurement forme un ovale complet s'étendant du Nord au Sud sur une longueur de 1,600 mètres.

Les *schistes de Pumpherston* forment un ensemble de cinq couches pétrolifères comprises dans une épaisseur de strates de 25 à 30 mètres.

Nous avons déjà signalé ces *shales* comme spécialement riches en

ammoniaque. Leur rendement est de 20 gallons d'huile et de 25 kilog. de sulfate d'ammoniaque à la tonne.

Ces couches n'ont pas, jusqu'ici, été reconnues ailleurs qu'à l'endroit qui vient d'être indiqué.

*District de Broxburn.* — Ce district, situé au Nord des gisements Pumpherstons, est séparé de ceux-ci par une faille importante dirigée S. W - N. E et formant un renforcement au Nord atteignant 450 m.

La Société *Broxburn Oil Co* y a des exploitations considérables, notamment dans la couche **Broxburn** dont l'affleurement forme une ellipse complète de 1,500 mètres environ de grand axe.

La coupe des terrains à Broxburn est peu différente de ce qu'elle est à West-Calder, sauf qu'ici, comme nous l'avons dit, la couche *Fells* est inexploitable. La couche Broxburn s'y présente au contraire dans les meilleures conditions.

Une particularité de ce district consiste en ce que des roches ignées ayant traversé les bancs bitumineux, ont provoqué çà et là la distillation de ceux-ci.

Les produits de la distillation se sont condensés dans des cavités et des fissures sous formes d'hydrocarbures, liquides ou solides. Les anciens se servirent même de ces produits naturels pour la fabrication de grossières bougies dont ils s'éclairaient.

Une conséquence de cette distillation est que les schistes, aux endroits où elle s'est produite, sont trouvés absolument stériles.

Dans cette région et plus au Nord, ces éruptions ont formé à la surface du sol de nombreuses éminences formées de produits volcaniques, appelées *ash necks* ou *nids de cendres*.

*Districts au Nord de Broxburn.* — Il y a au Nord de Broxburn, entre cette localité et le Forth, plusieurs centres plus ou moins importants d'extraction de schistes pétrolifères, dont quelques-uns seulement en reconnaissance.

M. Cadell en décrit, en détail, les intéressantes particularités géologiques.

Nous citerons les environs de *Philipstown*, où la Société de ce nom exploite la couche Broxburn et une autre, dénommée à tort Dunnet, et qui est probablement une autre couche comprise entre Broxburn et les grès de Binny.

Il y a encore le district de *Dalmeny* où la couche Broxburn et une autre, appelée **Curly shale**, et qui se trouve à deux mètres au-dessus de la précédente, sont en exploitation.

*Districts au Nord du Forth.* — Le calcaire de Hurler s'étend au Nord du Forth dans le *Fifeshire* au Sud et parallèlement; on peut reconnaître çà et là le passage des *shales*, notamment de *Dunnet shale*.

Cette couche a été exploitée près de Burntisland, tout à fait à l'embouchure du Forth. L'exploitation est inactive actuellement.

*District de l'Est.* — A l'Est d'Edimbourg, le passage du faisceau bitumineux s'observe au Sud de *Portobello*.

Des exploitations se sont développées entre Burdiehouse et Straiton. On y exploite notamment la couche *Dunnet* appelée dans cette région **Pentland sh.**, qui a 1<sup>m</sup>80 de puissance.

Le faisceau est plus resserré que sur le versant Ouest de l'anticlinal; cependant la plupart des couches s'y retrouvent mais généralement avec moins d'épaisseur.

---

Nous terminerons cet exposé par quelques données sur l'industrie du pétrole à Broxburn, extraites d'une notice rédigée à propos de l'excursion accomplie par un groupe de congressistes dans ce bassin.

Les usines et les mines de la *Broxburn Oil Company Limited* couvrent une surface de 100 hectares et occupent 1,800 ouvriers, dont la moitié dans les mines.

Environ 1,600 tonnes de schistes sont passés journallement (500,000 tonnes par an), par les cornues de distillation.

La production annuelle est d'à peu près 6,000 mètres cubes d'huile brute, qui est ensuite passée aux raffineries.

On consomme journallement 400 tonnes de charbon.

Les usines comprennent la *fabrique d'huile brute*, l'*usine à sulfate*, la *raffinerie*, la *fabrique d'acide*, la *fabrique de chandelles* et la *tonnellerie*.

La fabrique d'huile brute de *Roman camp* est raccordée à la raffinerie par un petit chemin de fer.

Le *gisement* a une étendue de 1,600 hectares et est exploité de la même manière que le charbon. La *fabrique de pétrole brut* est construite au centre; les mines rayonnent alentour.

Les puits sont foncés jusqu'aux parties les plus profondes des couches, afin de drainer celles-ci.

Les wagonnets arrivés à la surface sont vidés dans des wagons du chemin de fer d'où, par des culbuteurs hydrauliques, les schistes sont

déversés dans des trémies aboutissant aux broyeurs, qui les réduisent en blocs de 7 centimètres environ.

En cet état, ils sont transportés par câbles jusqu'à la plateforme surmontant les cornues.

Ils sont emmagasinés en cet endroit dans des trémies qui ont la capacité nécessaire pour la consommation de 18 heures et d'où ils descendent d'eux-mêmes vers les cornues.

Il y a à Broxburn 500 et à Roman-camp 240, soit en tout 740 cornues verticales du système Henderson.

Ces cornues ont environ 8<sup>m</sup>50 de haut : la partie supérieure est en fonte, le bas est en briques.

La distillation s'effectue d'abord dans la partie en fonte où la température est de 425° C° environ. Les schistes descendent ensuite dans la partie en briques où la température est de 700° C°. La haute température augmente le rendement en ammoniacque et en gaz permanents.

Les schistes sont maintenus en mouvement dans leur descente le long de la cornue par un rouleau denté placé à la partie inférieure qui évacue vers une trémie les schistes épuisés.

On chauffe les cornues au moyen de gaz produits par des générateurs et qui y sont introduits par des ouvertures latérales.

Les produits de la distillation, composés d'huiles, de vapeurs et de gaz permanents sont recueillis au sommet des cornues dans une conduite principale d'où ils passent dans des séries de tuyaux verticaux et de tours de refroidissement, où ils se condensent en huile brute et en eaux ammoniacales.

Les liquides s'écoulent alors dans une petite cuve de séparation. Un tuyau placé à la partie inférieure soutire les eaux ammoniacales ; un autre, placé plus haut, permet de recueillir l'huile brute ; tandis qu'on dirige les gaz permanents vers les cornues où ils se mêlent aux gaz des générateurs pour servir au chauffage des dites cornues.

Pour la fabrication du *sulfate d'ammoniaque*, les eaux ammoniacales sont amenées au sommet d'une colonne garnie de plateaux horizontaux. Les eaux tombent de plateau en plateau jusqu'au bas de la colonne où est amenée de la vapeur à la pression de 4 atmosphères.

La vapeur entraînant avec elle le gaz ammoniac, s'échappe au sommet de la colonne par une série de trous et est amenée, par des tuyaux en plomb, au fond d'une caisse de saturation remplie d'acide sulfurique, où l'ammoniacque est transformé en sulfate.

On retire celui-ci de la caisse au moyen de cuillers perforées. Après un égouttage de 12 heures environ, on le transporte dans des

magasins où il est séché pendant quelques jours ; après quoi on le passe au broyeur et on le met en sacs.

L'huile brute est amenée à la *raffinerie* dans une cuve d'une capacité de 200 mètres cubes.

Elle est pompée ensuite dans d'autres baes, d'où elle s'écoule vers une série de colonnes accouplées au moyen de tubes ; elle est alors traitée par les appareils continus du système Henderson.

La première distillation produit, d'une part, le « naphte vert » et l'huile verte » et d'autre part du coke qui constitue un excellent combustible sans fumée.

Le *naphte vert* est traité par l'acide sulfurique et la soude caustique ; après distillation à la vapeur, il donne un « esprit de schistes » ou un naphte d'une densité de 0.725 à 0.740.

L'*huile verte* est traitée de la même façon et est alors bonne à subir une seconde distillation.

Dans ces opérations, l'huile est agitée avec l'acide sulfurique, puis est laissée en repos ; le goudron noir qui se dépose alors au fond de la caisse, est extrait de celle-ci, tandis que l'huile s'écoule du laveur supérieur au laveur inférieur. C'est quand elle arrive dans ce dernier qu'on la mêle avec une solution de soude caustique. Pendant cette dernière opération, elle dépose un nouveau résidu de goudron.

L'acide sulfurique est retiré de ces goudrons et sert à la fabrication du sulfate d'ammoniaque, tandis que le goudron lui-même est utilisé comme combustible dans les foyers.

Par la seconde distillation, l'huile verte est séparée en huiles légères et en huiles lourdes, ces dernières contenant la paraffine solide.

Les huiles légères sont soumises à de nouvelles distillations qui les classent comme suit, suivant leur densité :

	Densité	Point d'ébullition en degrés cent.
Pétroline . . . . .	0.806	45°
Huile de paraffine n° 1 . . . . .	0.800	49°
Huile d'éclairage . . . . .	0.810	67°
Paraffine solide . . . . .	0.830	110°

Pour extraire la paraffine solide de l'huile lourde, on refroidit celle-ci jusqu'à 0° cent. et on en exprime la paraffine au moyen du filtre-pressé. Les produits sont de « l'huile bleue » et de la paraffine solide brute. L'*huile bleue* est traitée, distillée et fractionnée en huiles intermédiaires (utilisées pour la fabrication du gaz et d'autres usages)

et en huiles lourdes servant de lubrifiants. La paraffine solide brute est passée à l'étuvé (*sweating-house*) où elle est fractionnée et raffinée par le procédé Henderson jusqu'à un point de fusion de 49°; c'est la paraffine semi-rafinée. Le même procédé est répété plusieurs fois jusqu'à ce que l'on obtienne la paraffine raffinée dont le point de fusion est de 52° à 55°.

Après avoir subi ce procédé à la chaleur (*sweating process*), la paraffine est mêlée à du charbon de bois; on laisse déposer et on filtre à travers du papier. La paraffine est ensuite refroidie et moulée en blocs.

La production annuelle de cette substance est de 5,500 tonnes environ, dont la plus grande partie est transformée en chandelles dans l'établissement même.

La *fabrique de chandelles* est susceptible de produire environ 20 tonnes de chandelles par jour et est pourvue d'un outillage tout moderne.

La paraffine est sans goût, odeur, ni couleur. Les points de fusion habituels de ces produits sont 38°, 44°, 49°, 52° et 55°. La plus dure est utilisée pour l'éclairage, sous forme de bougies, de mèches et d'allumettes-bougies; la cire tendre est brûlée dans des lampes à la cire, lampes de sûreté ou lampes à main. La plus molle, celle dont le point de fusion est de 38° environ, sert pour saturer les batonnets des allumettes de bois afin de les rendre plus aisément inflammables.

La *fabrique d'acide sulfurique* est divisée en deux parties consistant chacune en cinq chambres, deux tours Glover et une tour Gay-Lussac qui est réunie, d'un côté à la cheminée, de l'autre à la chambre centrale. Il y a des appareils de concentration.

L'usine est susceptible de produire par jour 14 tonnes d'acide sulfurique concentré et 26 tonnes d'acide sulfurique à 44°.

La *tonnellerie* comprend un hangar-séchoir, un atelier de réparation, un atelier de collage où l'intérieur des tonneaux est enduit d'une couche mince de colle de façon à rendre les bois imperméables, une salle de peinture et une salle de remplissage pourvue d'un appareil Crawford pour le remplissage automatique.

### *La fabrication des briques.*

---

Il convient de donner quelques mots d'explication pour justifier le classement de cet article parmi ceux ayant trait à l'exploitation des mines.

En effet, la fabrication des briques est, chez nous, une industrie tout à fait distincte et qui n'a d'autres rapports avec l'exploitation des mines, que par l'utilisation qu'on fait, pour la construction des bâtiments miniers, des matériaux qu'elle fournit.

Il en est autrement dans d'autres pays. Nous avons déjà dit qu'en Allemagne des usines à briques sont souvent établies pour utiliser certains schistes houillers rejetés sur les terris. En Angleterre, dans certains bassins surtout, spécialement dans les bassins du Nord, les briques sont un véritable sous-produit de l'industrie houillère et des briqueteries sont fréquemment annexées aux installations. Certains bancs de la formation houillère conviennent en effet fort bien pour la fabrication des briques réfractaires ou pour d'autres produits céramiques, tels que tuyaux, cornues d'usines à gaz, appareils sanitaires, briques spéciales pour façades de maisons, etc.

Ces bancs, dits d'argiles réfractaires (*fireclay*), forment le plus souvent le mur des couches de houille et sont enlevés en même temps que celles-ci, sinon sur toute la surface de l'exploitation, du moins dans les parties qui s'y prêtent le mieux, notamment là où l'entaillement du mur s'impose par les nécessités de l'exploitation.

La présence de ces bancs utilisables est prise en sérieuse considération dans l'estimation de la valeur d'une mine, car elle contribue souvent à justifier l'exploitation de telle ou telle couche mince ou de charbon médiocre, qui ne serait pas, prise isolément, exploitable avec profit.

A titre d'exemple de l'influence qu'a l'utilisation de ces bancs de schistes dans l'économie d'une exploitation minière, voici, extrait d'un mémoire de M. P. Kirkup paru dans le vol. XV des *Transactions of the Institution of mining Engineers*, quelques éléments comparatifs du prix de revient dans le cas d'une couche de 0<sup>m</sup>45 de puissance en charbon reposant sur un mur de schiste réfractaire dont on extrait une partie avec le charbon, dans la proportion de 1 de schiste pour 5 de charbon et que l'on utilise pour la fabrication des briques.

	<i>Prix de revient en salaires, par tonne de charbon.</i>	
	Quand le schiste du mur est rejeté aux remblais.	Quand on extrait une partie de ce schiste pour être transformé en briques.
	Franc .	Francs <sup>s</sup>
Abatage et coupage de voies. . . . .	3 75	3 30
Transport souterrain et divers. . . . .	1 15	0 90
Travaux à l'entreprise . . . . .	0 60	0 60
	5 50	4 80

Les schistes sont amenés à l'usine à briques au prix de revient en salaires de fr. 2-75 par tonne.

Il va de soi que tous les bancs de schistes, même tous les bancs de schistes de mur des couches ne conviennent pas pour être transformés avec profit en briques ou en autres produits. Il faut pour cela certaines qualités de pureté.

Tous les bancs utilisables ne le sont pas non plus pour la même nature de produits ; tandis que les uns, formés d'une argile forte, plus siliceuse, plus réfractaire, sont plus convenables pour la fabrication des objets devant aller au feu, d'autres, formés d'une argile plus douce, plus plastique, plus alumineuse, moins réfractaire et ayant une tendance à se vitrifier partiellement, conviennent mieux pour des poteries diverses exigeant une façon plus compliquée, pour des tuyaux, des appareils sanitaires, des briques ornementales, etc.

Les matières constituant l'argile sont essentiellement la silice et l'argile; voici la proportion de ces constituants dans le kaolin chimiquement pur :

Silice . . . . .	46.3
Alumine . . . . .	39.8
Eau combinée. . . . .	13.9
	100.0

Pratiquement, des substances étrangères se rencontrent dans tous les schistes ou toutes les argiles. Quand elles atteignent une certaine proportion, elles rendent cette matière sans emploi.

M. Kirkup, que nous avons déjà cité, estime que 2 % de potasse est tout ce que l'on peut tolérer dans une argile destinée à la fabrication d'une brique réfractaire. La soude joue le même rôle de fondant. Le mica ne peut non plus être trop abondant, car il contient de la potasse.

L'oxyde de fer est également nuisible. Il arrive cependant que l'oxyde de fer se trouve dans une argile à un état tel qu'il n'entre pas en combinaison et n'a d'autre effet que de colorer fortement la brique tout en laissant à celle-ci ses qualités réfractaires.

Voici, extrait de la notice de M. Kirkup, un tableau qui donne, d'après des analyses, la composition centésimale de quelques matières premières, depuis le kaolin jusqu'au ganister, roche du terrain houiller anglais, bien connue pour ses propriétés réfractaires.

	Kaolin lavé.	Argile douce.	Argile forte.	Ganister
Silice . . . . .	50.50	52.11	61.66	85.00
Alumine . . . . .	33.70	32.01	25.00	7.45
Peroxyde de fer . . . . .	1.80	3.08	1.16	0.37
Magnésie . . . . .	0.00	0.54	0.09	1.15
Chaux. . . . .	0.80	0.72	0.44	0.95
Potasse et soude . . . . .	1.90	1.36	1.00	0.59
Eau combinée et matières organiques. . . . .	11.30	10.18	10.65	4.49
	100.00	100.00	100.00	100.00

Il y a aussi à considérer, pour le choix des usages auxquels les argiles sont destinées, la grosseur du grain ; cette grosseur joue un rôle important dans la contraction que subit la matière. De même que cette contraction varie en raison de la proportion d'alumine, elle est aussi d'autant plus forte que le grain est plus fin.

Dans notre première notice nous avons, en signalant le travail de M. Allen, sur la fabrication des briques (1), indiqué comment cet auteur divise les briques en deux catégories bien distinctes sous le rapport de leur fabrication. Dans l'une, la matière est traitée à l'état plastique et la cohésion s'obtient naturellement par une sorte de cristallisation ; dans la seconde, au contraire, la matière est traitée absolument sèche et la cohésion est obtenue artificiellement par une pression considérable.

Une troisième catégorie se place entre les deux autres, le procédé de fabrication, celui surtout employé en Angleterre, notamment dans le traitement des schistes houillers, tenant à la fois de l'un et de l'autre des procédés employés pour les premières catégories.

Dans le mémoire qu'il a présenté au Congrès de Glasgow, M. Allen a étudié successivement les procédés de fabrication des briques, dans les trois systèmes, en commençant par celui où l'on emploie, en leur état plastique, les argiles trouvées dans le sol.

Bien que certaines parties de cette communication soient loin d'être une nouveauté pour les spécialistes, comme elle constitue en quelque sorte une mise au point de la question en Angleterre, nous croyons intéressant d'en donner une analyse assez complète.

#### A. — BRIQUES D'ARGILE PLASTIQUE.

*Extraction de l'argile.* — L'auteur suppose le cas, assez habituel, d'une couche d'argile d'environ 6 mètres d'épaisseur augmentant en plasticité avec la profondeur.

Les ouvriers chargés de la fouille travaillent en gradins à trois hauteurs différentes ; quand celui qui est au gradin inférieur est arrivé au fond de la couche, il remonte au sommet et commence un nouveau gradin, tandis que les deux autres s'approfondissent ; tous trois chargeant sur le wagon amené près de la fouille.

Cet ordre étant toujours observé, les diverses parties, de plasticité différente, de la couche sont mélangées dès le début et l'on a une

(1) *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, pp. 894 et 895.

matière homogène, ce qui est très important vu que les briques doivent subir ensemble le même séchage et la même cuisson.

*Corroyage de l'argile.* — L'argile étant amenée à la fabrique, passe entre des cylindres superposés au nombre de deux ou trois qui la lamine et la triture. Mais M. Allen recommande, pour certaines argiles, l'emploi préalable d'un *mélangeur* consistant en une cuve horizontale dans laquelle tourne un axe muni de couteaux et assez semblable au malaxeur qui viendra ensuite. Ayant passé à cet appareil, la terre est mieux préparée pour les opérations suivantes, qui sont ainsi facilitées et dont l'effet utile, au point de vue de l'homogénéité de la brique, est augmenté.

Sortant de ce premier mélangeur, la matière passe aux cylindres. Au sortir de ceux-ci, la terre doit être bien broyée et former une pâte absolument homogène, la fonction de l'appareil suivant, le malaxeur, étant moins de mélanger la matière, comme on ne le comprend que trop souvent, que de consolider celle-ci et de la pousser à travers la *filière* en une colonne continue.

*Malaxage.* — Le malaxeur est un cylindre dans lequel tournent un ou même deux axes munis de couteaux formant hélice.

La matière versée au sommet, ou à une extrémité si le cylindre est horizontal, est comprimée vers une ouverture ou filière ayant pour section les deux grandes dimensions de la brique et par où elle sort en une colonne prismatique qu'il suffit ensuite de diviser à des distances égales à l'épaisseur des briques pour obtenir celles-ci.

Un défaut que l'on constate fréquemment dans les briques fabriquées de cette façon, c'est qu'il se forme des fissures autour du centre de la brique, isolant ainsi des angles le noyau central de la dite brique.

Ce défaut provient de ce que, dans le laminage de l'argile, au sortir du malaxeur, la friction s'exerce plus fort sur le pourtour tandis que le centre se meut plus facilement. Il en résulte qu'au séchage le centre, moins compact, se contracte davantage.

On y remédie en augmentant, dans la mesure du possible, la pression sur le centre et en la diminuant sur le pourtour; cette dernière condition s'obtient en réduisant au minimum la conicité de la filière et en lubrifiant les parois de celle-ci, soit avec de l'eau, soit avec de la vapeur. Une plus grande compacité au centre de la colonne est obtenue par l'emploi de malaxeurs à axe double.

*Découpage.* — Le découpage de la colonne en une série de briques se fait au moyen de divers appareils plus ou moins perfectionnés. M. Allen en décrit trois dont le premier, le plus ancien, exige la présence de deux ouvriers, le deuxième, plus récent, n'en exige qu'un, et le troisième, qui est surtout en usage en Amérique, est automatique.

Le premier appareil est formé d'une table en fer *T* (fig. 7), d'environ 0<sup>m</sup>90 de long, sur 0<sup>m</sup>30 de large. Le long d'un des côtés est disposé un cadre en fonte *D*, présentant une série de fils d'acier, tendus verticalement. Du côté opposé de la table se trouve un plateau verti-

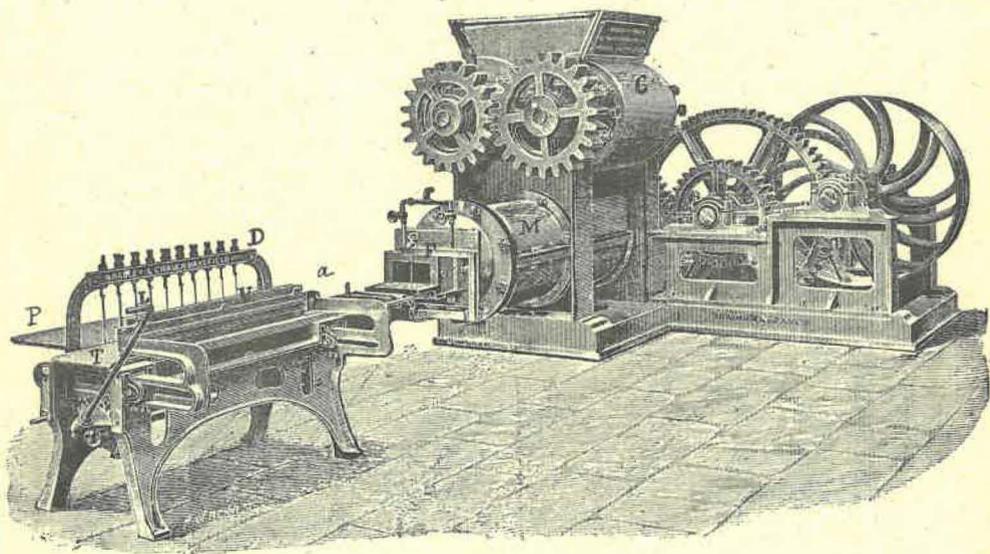


FIG. 7.

cal pouvant être, au moyen d'un levier, poussé à travers la table jusqu'à atteindre les fils.

· La manœuvre se fait comme suit :

Le prisme de pâte étant sorti du malaxeur *M* par la filière *F*, sur une longueur suffisante, un jeune ouvrier placé en *A*, sépare au moyen d'un archet muni d'un fil d'acier ce tronçon du reste et le pousse sur la table.

· Un autre ouvrier placé vers l'autre extrémité de la table, manœuvre alors le levier *L* et pousse à travers les fils toute cette masse qui

est ainsi divisée en 9 ou 10 briques lesquelles sont recueillies sur une planche *P*, d'où on les retire pour les conduire aux séchoirs.

La figure 7 indique une table de ce genre attelée à la suite d'un malaxeur surmonté lui-même d'une paire de cylindres *C*.

Un perfectionnement a été apporté à cet appareil qui n'exige ainsi plus qu'un seul ouvrier et une seule manœuvre par série de briques. La colonne d'argile sortant de la filière vient buter contre un arrêt situé à l'extrémité de la table; alors l'ouvrier qui a en main le levier fait fonctionner celui-ci et du même coup fait avancer la table et sépare les briques, le mouvement inverse du levier amène les briques sur la planche; la table est repoussée dans sa position primitive et l'opération recommence.

Cet appareil est dit, appareil « Simplex ».

Dans le découpage automatique, la colonne d'argile, après avoir passé en sortant du malaxeur par un graisseur ou un « ensableur » s'avance sur une table sans fin qui est animée d'un mouvement continu. De cette table, qui est appelée la « table à mesurer », elle passe sur la « table à découper », qui est disposée de telle sorte que lorsque la colonne y occupe la longueur voulue, cette table se dégage de la précédente, emportant avec elle l'argile qui est aussitôt découpée. Les briques sont alors poussées sur une troisième table dite « table de séparation », tandis que la table à découper reprend sa position primitive. Toutes ces opérations se font automatiquement.

*Séchage.* — L'auteur considère le séchage en plein air comme un système suranné qui d'ailleurs n'est applicable que dans certains cas et fait dépendre l'opération des caprices de la température et de l'atmosphère.

Le séchage se fait maintenant à couvert.

Il y a plusieurs systèmes.

Le plus ancien consiste en une sole surmontant des foyers dont les produits de la combustion sont appelés par une cheminée.

Actuellement on emploie, pour le chauffage de ces soles, la vapeur de décharge. La sole est faite d'un béton à éléments moyens et est supportée par des murs à claire-voie.

On commence aussi à employer des « tunnels de séchage » qui sont coûteux mais qui présentent l'avantage de supprimer une manipulation de briques et ainsi à la fois d'économiser la main-d'œuvre et de diminuer les chances de détérioration des produits.

Ces *tunnels* sont de longues chambres étroites qui sont chauffées

soit par la vapeur (vapeur de décharge ou vapeur vive), soit par de l'air chaud insufflé par un ventilateur.

Les briques, au sortir de la table de découpage, sont empilées à claire-voie sur des chariots en fer qui sont poussés dans le tunnel où ils restent jusqu'à séchage complet, après quoi les chariots sont dirigés vers les fours.

Quand le chauffage est à vapeur, celle-ci provenant soit de la décharge de la machine à briques soit directement des chaudières, circule dans des séries de tuyaux placés longitudinalement sous le sol tout le long du sécheur ; par l'échauffement de l'air, un courant ascensionnel s'établit qui passe à travers les briques, enlevant l'humidité de celles-ci, et s'échappe par des ouvertures ménagées dans la voûte vers un compartiment séparé appelé « chambre de ventilation ».

*Cuisson.* — Le four le plus recommandable, surtout pour les briques ordinaires, est le four continu. Le plus employé est celui du système Hoffmann, four bien connu, formé d'une série de chambres se succédant en un couloir continu et où le combustible est introduit successivement sous forme de charbon menu par la voûte.

L'air entre froid dans le compartiment des briques cuites depuis le plus longtemps et prêtes au défournement ; il circule sur les briques de plus en plus chaudes, en s'échauffant progressivement de façon à être à même de provoquer la combustion du charbon là où celui-ci est projeté ; l'air continue sa marche, échauffant les briques des chambres suivantes et se refroidissant au fur et à mesure.

La forme donnée ordinairement aux fours est celle d'un ovale très allongé ou plutôt d'un rectangle terminé par deux demi-cercles.

Le conduit de retour des flammes se trouve sous la sole des fours.

Le perfectionnement essentiel apporté au four Hoffmann primitif consiste dans ce que les briques les plus fraîchement enfournées sont distraites du courant général, lequel, après avoir passé sur des briques non complètement sèches encore, se chargeait de vapeur d'eau ; cette humidité se reportant sur les briques qu'on vient d'enfourner, nuisait à la qualité de celles-ci.

Dans les nouveaux fours, il existe un second conduit avec lequel chacun des fours peut être mis en communication par le haut et par le bas. Les chambres où l'air est le plus chaud et le plus sec sont mises en communication par leur sommet avec ce conduit ; une portion de cet air chaud s'échappe et, par un jeu de vannes, va pénétrer à la

partie inférieure des chambres où les briques viennent d'être enfournées; celles-ci commencent ainsi leur échauffement dans un air bien sec, et, en même temps que l'inconvénient ci-dessus signalé est évité, on réalise une sérieuse économie de combustible par une meilleure utilisation de la chaleur.

#### B. — BRIQUES COMPRIMÉES A SEC.

La fabrication de telles briques est rare en Angleterre. Elle est au contraire très fréquente aux Etats-Unis. Cette différence a-t-elle pour cause la nature différente de la matière première dans les deux pays? M. Allen veut bien l'admettre; il croit cependant qu'il existe en Angleterre assez de gisements d'argile convenant à cette fabrication pour que celle-ci puisse se développer et prospérer.

*Séchage et broyage.* — La première opération consiste à sécher à fond la matière. Ce séchage peut s'accomplir de diverses façons entre autres simplement en emmagasinant la terre pendant quelque temps sur une sole chaude abritée.

Le broyage s'accomplit au moyen de meules verticales tournant dans une auge percée de trous. Les produits passent dans un crible et se rendent ensuite à la presse où ils sont amenés au moyen de chaînes et de trémies.

*Compression des briques.* — Elle comprend les opérations suivantes :

Sous la trémie se trouve un « chargeur » ouvert en haut et en bas, qui, après avoir reçu sa charge d'argile, s'avance et introduit celle-ci dans le moule, après quoi il recule pour recevoir une nouvelle charge de matière et aussi pour permettre au piston de la presse de plonger dans le moule pour y transformer par la pression l'argile en briques. Après compression, les plongeurs, tant celui de dessus que celui du dessous, remontent tous deux; celui du dessus s'élève assez haut pour permettre au chargeur de passer en dessous pour reprendre sa place; celui du dessous remonte jusqu'au ras de la surface supérieure de la table sur laquelle glisse le chargeur; il stationne un instant dans cette position jusqu'à ce que le chargeur, s'avançant de nouveau, pousse en bas de la table la brique terminée, puis replonge de nouveau et le moule reçoit une nouvelle charge de terre.

Voici maintenant quelques détails sur les diverses opérations et sur les appareils eux-mêmes.

La trémie est une boîte en fer ouverte en haut et en bas ; la face inférieure du fond est soigneusement rabotée et polie de façon à joindre exactement la face supérieure du « chargeur » qui doit glisser entre la trémie et la table.

Ce chargeur est une boîte dont la partie antérieure est ouverte des deux côtés, tandis que la partie postérieure est pleine, destinée qu'elle est à fermer la trémie et à empêcher la chute de l'argile y contenue, pendant que le chargeur fait son mouvement vers l'avant. Sa face extérieure, qui est destinée à pousser la brique fabriquée, est garnie de bois, de cuir ou de caoutchouc, en vue d'empêcher une adhérence qui dégraderait la brique. La contenance du chargeur est un peu supérieure à celle du moule en vue d'éviter que celui-ci puisse être incomplètement rempli.

Les pistons ou plongeurs sont actionnés par des crosses ou manivelles et leur course est réglée de telle sorte que celle du piston supérieur soit plus grande que celle de l'autre, pour le motif déjà indiqué. Le plongeur supérieur agit le premier ; il donne à l'argile, jusqu'alors en poudre, la première pression qui expulse la plus grande partie de l'air interposé ; les deux pistons agissent alors en sens contraire l'un vers l'autre et compriment la brique jusqu'à ce que celle-ci ait atteint la dimension voulue.

Pour une épaisseur donnée de la brique, la densité de celle-ci est proportionnelle à la quantité de matière qui la compose. On règle cette quantité de matière et par conséquent la densité en limitant plus ou moins la course du plongeur inférieur dans le sens de la descente, rendant ainsi le moule plus ou moins profond.

Les parois des plongeurs sont soigneusement polies et ajustées, de façon à ne laisser entre elles et le moule aucune intervalle qui aurait pour effet de laisser déborder l'argile sur les bords des briques qui perdraient ainsi le bel aspect considéré comme indispensable dans ces sortes de matériaux. Pour empêcher l'adhérence, les parois du piston sont chauffées par une circulation de vapeur.

On règle l'épaisseur de la brique au moyen de plaques d'acier qui sont introduites entre les pistons et leurs tiges.

Nous avons vu comment on en règle la compression ou la densité. Il est essentiel d'observer que le degré de compression à donner à une brique dépend de la nature de la matière employée. Plus l'argile est sableuse et plus les grains sont gros, plus grande doit être la pression. En tout cas, celle-ci doit être poussée jusqu'au point où la liaison est bien complète.

Quand les briques quittent la machine, on les envoie directement aux fours.

Il est à remarquer que ces briques, par le fait qu'elles sont plus dures et plus denses, exigent des feux plus forts pour les cuire que les briques plus légères.

#### C. — FABRICATION PAR LE SYSTÈME SEMI-PLASTIQUE.

*Matières premières.* — Ce mode de fabrication a généralement lieu quand il s'agit de mettre en œuvre des matières premières dures et sèches, spécialement des schistes. C'est le système usité pour la fabrication des briques au moyen des schistes houillers, fabrication qui, avons-nous vu, a en Angleterre une assez grande importance et est fréquemment une annexe des installations minières.

*Broyage et malaxage.* — Les schistes sont conduits directement aux broyeurs, qui sont généralement des broyeurs à meules verticales, comme dans le système précédent. De là, la matière, convenablement criblée, passe à un mélangeur à double axe, sorte de patouillet où la matière en poudre est mélangée avec une certaine quantité d'eau et pétrie en une pâte qui passe ensuite au malaxeur proprement dit.

Le malaxeur (*pugmill*) est un appareil semblable à celui employé dans le premier système de fabrication et que nous avons déjà décrit. Nous n'y reviendrons pas.

*Presse à briques.* — Cet appareil comprend d'abord une sorte de table circulaire pourvue sur son pourtour d'une série de moules, qui, par le mouvement rotatif de la table, viennent se présenter successivement devant l'orifice du malaxeur et reçoivent leur contenu de terre préparée. La presse proprement dite, qui fonctionne à la façon des presses renseignées à propos du système précédent, reprend la brique ainsi ébauchée et qui, après avoir été automatiquement démoulée, est amenée de même à la presse ; celle-ci termine la brique en lui donnant le degré de compression voulu.

Généralement, la machine à briques comprend le mélangeur, le malaxeur, la table à moules et la presse proprement dite.

Elle est susceptible de produire 10 à 12,000 briques par jour.

Sortant de cette machine, les briques sont conduites à la cuisson, qui ne présente rien de particulier.

Il va de soi que la forme et la disposition varient suivant la nature

des produits qui sont livrés à la cuisson. Si ce sont des briques, seul cas envisagé par M. Allen, ils peuvent être des fours semblables à celui décrit plus haut; ils sont aussi souvent d'autres systèmes, avec foyers disposés aux deux côtés de la porte. Un récent perfectionnement fait amener sur ces foyers de l'air échauffé par circulation dans des carneaux autour de ces foyers même; de cette façon, en même temps qu'on obtient une combustion plus complète, on évite l'inconvénient de rentrées d'air froid qui jettent dans la cuisson des perturbations nuisibles à la bonne qualité des briques.

S'il s'agit d'autres produits, les fours sont différents, ce sont notamment des fours en ruche, munis sur le pourtour d'une série de foyers et semblables à ceux employés partout pour la fabrication des produits céramiques ou réfractaires.

---

*La fabrication du coke à Oliver (Pennsylvanie).*

Les fours à coke, sur lesquels M. KEIGHLEY, directeur de la Société, a donné au Congrès d'intéressantes indications, et qui peuvent être comptés parmi les plus importants établissements de ce genre du monde entier, sont situés au cœur même du bassin de charbon à coke de Connellsville, à Oliver, près du bourg d'Unionstown, comté de Fayette (1).

La fondation de cette usine date d'un peu plus de 10 ans; elle est due à MM. Oliver frères, de Pittsburg.

Les mines auxquels ils sont annexés ont une production annuelle de 750,000 tonnes, extraites par deux puits à des profondeurs de 115 et de 125 mètres.

La plus grande partie de cette production est transformée en coke.

Le nombre de fours est de 700 (il est question de pousser ce nombre à 1,100).

Les fours sont, comme cela a lieu souvent aussi en Angleterre, de la forme primitive dite de « ruche d'abeille » ou de « fours de boulanger », sans retour des flammes ni utilisation ultérieure de celles-ci.

Ils sont groupés par massifs de quatre.

Chaque four a 3<sup>m</sup>70 de diamètre et 2<sup>m</sup>40 de hauteur.

(1) Voici sur l'industrie du coke dans le bassin de Connellsville, pendant les deux dernières années, quelques renseignements statistiques que nous extrayons du *Connellsville Courier* :

Années	Coke produit, en tonnes de 1000 kil.	Valeur totale Francs	Valeur de la tonne de 1000 kil Francs
1900	9,211,009	137,245,000	14 90
1901	11,437,000	122,950,000	10 75

De cette production un quart environ se consomme dans les environs de Pittsburg; la moitié s'expédie vers les localités de l'Ouest.

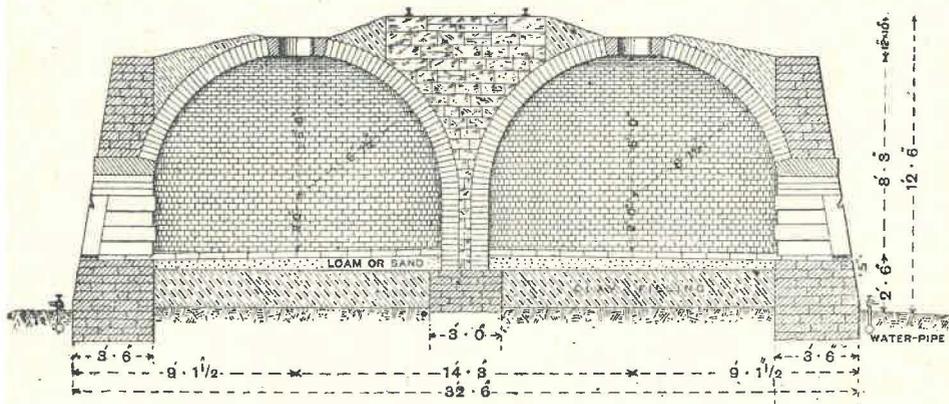


Fig. 8. — Coupe verticale.

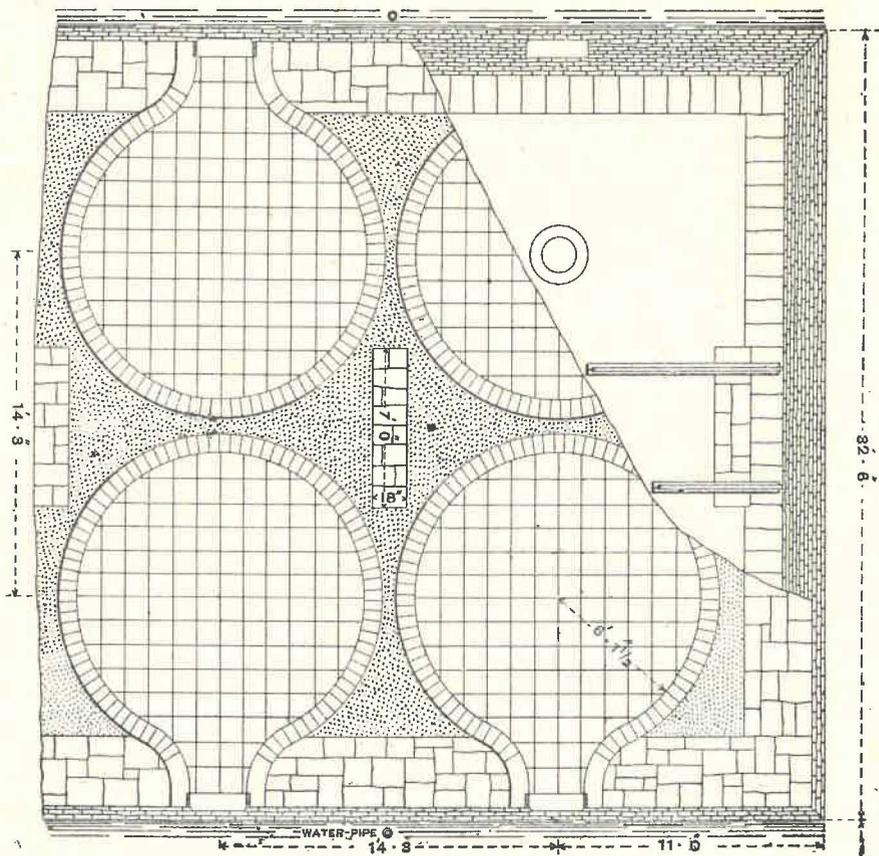


Fig. 9. — Plan.

L'auteur donne des indications assez détaillées sur la construction de ces fours et sur les matériaux employés, points sur lesquels il insiste, dit-il, parce que la réussite de la fabrication du coke dépend dans une large mesure de la façon dont les fours sont construits et de la qualité des matériaux employés pour cette construction. Comme nous ne pensons pas que l'on songe à construire des fours à coke de ce système dans notre pays, nous omettrons ces détails.

D'ailleurs, les renseignements donnés dans cette communication ont surtout un intérêt de curiosité. Comme l'a fait remarquer M. le Président, après la lecture, c'est un « record » dans la fabrication du coke, au point de vue du prix de revient, et cette notice prouve simplement que l'on se trouve, à Connellsville, dans des conditions exceptionnellement favorables à ce point de vue.

Le charbon provient de la couche Connellsville, renommée pour ses qualités spéciales de charbon à coke. Il est enfourné tel qu'il a été détaché de la veine par le pic du mineur, sans broyage, ni triage, ni lavage, ni criblage.

Voici trois analyses de ce charbon :

	N <sup>o</sup> 1.	N <sup>o</sup> 2.	N <sup>o</sup> 3.
Humidité . . . . .	0.80	0.35	0.60
Matières volatiles . . . . .	26.70	31.70	29.50
Carbone fixe . . . . .	66.35	61.17	63.10
Soufre . . . . .	0.80	0.78	0.94
Phosphore . . . . .	0.01	0.02	0.01
Cendres . . . . .	5.35	6.00	5.85

Le coke obtenu a la composition suivante :

Humidité . . . . .	0.03 à 0.10
Matières volatiles . . . . .	0.53 à 0.70
Carbone fixe . . . . .	89.00 à 89.70
Soufre . . . . .	0.63 à 0.72
Phosphore . . . . .	0.01 à 0.02
Cendres . . . . .	8.95 à 9.54

Le rendement est de 67 % de coke en morceaux.

Les charbons emmagasinés près de la mine sont amenés par locomotives sur les fours.

On introduit dans chaque four : le lundi et le mardi, 4 1/2 tonnes ; le mercredi et le jeudi, 4 1/2 tonnes ; le vendredi et le samedi 5 1/4 tonnes.

Voici quelle est la marche habituelle des opérations :

Le charbon étant amené sur les fours, ainsi qu'il a été dit, est coulé dans ceux-ci, par les ouvertures supérieures, au moyen de trémies attachées aux wagons. Le charbon est égalisé (*levelled*) par un ouvrier spécial appelé *leveller*. Cet ouvrier adapte ensuite la porte, en ayant soin d'y laisser une ouverture en forme de croissant pour l'introduction de l'air dans les fours; cette ouverture est réglée suivant les besoins.

La carbonisation dure 24, 48, 72 et même 96 heures suivant les nécessités commerciales. Le coke est ensuite refroidi par jets d'eau et retiré du four, à la main, chargé sur des brouettes et conduit dans les wagons de chemins de fer.

La main-d'œuvre est organisée comme suit :

Les fours à coke sont divisés en groupe de 50, chacun d'eux étant confié à un *leveller*, qui a la responsabilité de la bonne égalisation et de la bonne carbonisation des charges.

Ces groupes sont subdivisés en sous-groupes de 2 à 4 fours, ayant pour chacun d'eux un *tireur de coke* ou défourneur (*coke drawer*), qui a la responsabilité du défournage, de l'arrosage et du chargement sur les wagons.

Par 100 fours, il y a un chargeur et, en outre, un ouvrier avec un cheval et une charette, pour l'enlèvement des cendres et des déchets.

Il y a un nettoyeur de voies (*truck cleaner*) par 150 fours.

Par 300 fours, un ouvrier (*car shifter*) est affecté au service des wagons de chemin de fer.

En résumé, par 300 fours, on a le personnel suivant :

1 chef d'équipe, 2 nettoyeurs-voies, 1 *car-shifter*, 3 enleveurs-cendres, 3 chargeurs, 6 *levellers* et 75 à 100 défourneurs.

La production journalière moyenne de 300 fours est de 650 à 675 tonnes.

Les réparations sont faites par des ouvriers spéciaux, dont le nombre varie suivant le travail à faire.

L'échelle des salaires est la suivante pour les divers travaux :

	Dollars.	Francs.
Défournement par 3 tonnes de charbon enfourné . . . . .	0.72	3 60
Egalisage par 3 tonnes de charbon enfourné . . . . .	0.12	0 60
Machiniste de locomotive et chargeurs . . . . .	2.40	12 00
Chargeurs . . . . .	1.85	9 25
Enleveurs-cendres. . . . .	1.60	8 00
Nettoyeurs-voies . . . . .	1.50	7 50
Car-shifters. . . . .	2.25	11 25
Maçons . . . . .	2.50	12 50
Manœuvres. . . . .	1.59	7 50

Les deux premiers postes sont à la tâche, les autres sont à la journée.

Le prix de revient de la tonne métrique (1,000 kilog.) de coke est, au taux actuel des salaires, de 1 dol. 65 ou fr. 8-30. Il se décompose comme suit :

	Dollars.	Francs.
Charbon . . . . .	1.11	5 55
Service des fours . . . . .	0.39	1 95
Réparations et amortissement des fours . . . . .	0.04	0 20
Intérêts . . . . .	0.03	0 15
Taxes, assurances, etc. . . . .	0.05	0 25
	<u>1.62</u>	<u>8 10</u>

Le taux des salaires ci-dessus indiqué est un des plus élevés qui ait jamais existé.

L'auteur de la communication déclare avoir fabriqué du coke au taux extrêmement réduit de 84 cents, soit de fr. 4-20 la tonne de 1,000 kilogrammes.

*L'exploitation et le traitement des minerais de cuivre aux mines de Wallaroo et de Moonta (Australie du Sud).*

M. H. LIPSON HANCOCK donne sur ces importantes mines, en exploitation depuis une quarantaine d'années déjà, divers renseignements dont nous extrayons ce qui suit :

A. — GÉNÉRALITÉS.

Elles sont situées à 16 kilomètres l'une de l'autre, au Nord de la péninsule de York et respectivement à 10 et à 18 kilomètres du port de Wallaroo, sur le golfe Spencer, où se trouvent les fours pour le traitement métallurgique.

Elles sont reliées par chemin de fer à ce port et également à la ville d'Adelaïde.

Elles ont été concédées par le Gouvernement pour un terme de 99 ans, moyennant une redevance fixe annuelle de 1 shilling par acre (fr. 3-10 par hectare) et une redevance proportionnelle de 2 1/2 % sur les bénéfices.

La valeur totale du minerai extrait jusqu'à présent s'élève à plus de 250 millions de francs. La production annuelle est d'environ 200,000 tonnes de minerai tout-venant, donnant lieu à 37,000 tonnes de minerai fini.

La quantité de cuivre produite est d'environ 4,800 tonnes par an.

La teneur moyenne utile en cuivre serait donc de 2 1/2 % environ pour le minerai tout-venant, et de 13 % environ pour le minerai fini.

Le nombre d'ouvriers occupés est de 2,000.

La profondeur maxima atteinte est de 750 mètres ; la profondeur moyenne d'exploitation, de 500 mètres.

B. — NATURE DU GISEMENT.

A Wallaroo, il existe plusieurs filons à peu près parallèles, réunis parfois par des ramifications secondaires.

A Moonta, il y a cinq filons principaux.

Les terrains dans lesquels se rencontrent ces filons sont assez différents dans l'une et l'autre de ces mines : A Wallaroo, ils consistent en micaschistes métamorphiques, probablement de l'époque cambrienne ; à Moonta, ce sont des roches ignées, porphyriques, très dures, d'une densité moyenne de 2.67. La matière filonienne est à peu près de la même nature que les roches encaissantes ; à Wallaroo,

bien qu'elle soit moins dure qu'à Moonta, elle est plus résistante, contenant une assez forte proportion de hornblende. Elle est aussi un peu plus dense ( $d = 2.95$ ) ; à cause de cette circonstance, la concentration du minerai est plus difficile.

Le minerai consiste principalement en sulfures, intimement mélangés avec la gangue.

A Wallaroo, on retire d'abord du tout-venant, une certaine quantité de minerai, et le reste, c'est-à-dire la plus grande masse, va à la préparation mécanique, où 5 à 7 tonnes sont nécessaires pour produire 1 tonne de minerai fini, à 10 ou 12 %.

A Moonta, le minerai en lui-même est sensiblement plus riche et peut être concentré aisément à 15 ou 18 % de cuivre, mais la gangue est plus abondante et il faut 10 à 14 tonnes de tout-venant pour produire 1 tonne de minerai fini.

#### C. — EXPLOITATION.

A Moonta, les filons sont très redressés (50 à 70°).

Cette circonstance, jointe à la dureté des roches encaissantes, qui rendent les travers-bancs très coûteux à creuser, font que les puits ont été foncés obliquement dans les filons mêmes. Des bennes roulant sur des rails en fer disposés sur le mur du filon sont employées au lieu de cages, pour transporter le minerai à la surface.

Le puits principal, ayant pour section  $5^m10 \times 2^m40$ , est divisé en trois compartiments : deux pour l'extraction et un pour l'épuisement et divers services.

A Wallaroo, les puits sont généralement verticaux et les filons sont atteints par des bouveaux. La profondeur d'extraction est beaucoup moins grande qu'à Moonta.

Les minerais détachés des filons sont descendus dans les wagonnets par des couloirs semblables à nos cheminées de dressants. De là ils se rendent au puits, où ils sont culbutés dans des sortes de coffres de grande capacité disposés aux divers accrochages du puits. Par l'ouverture d'une vanne, on fait écouler le contenu de ces coffres dans les bennes roulantes. Celles-ci peuvent contenir environ 1,500 kilos de minerais ; la vitesse d'extraction atteint 8 mètres par seconde. On peut extraire aisément 25 à 30 tonnes de minerai par heure.

Les figures suivantes, à l'échelle de 1/300 environ, que nous empruntons à la notice de l'auteur qui paraîtra dans un prochain volume des *Transactions of the institution of mining Engineers*, donnent une idée du mode d'exploitation suivi :

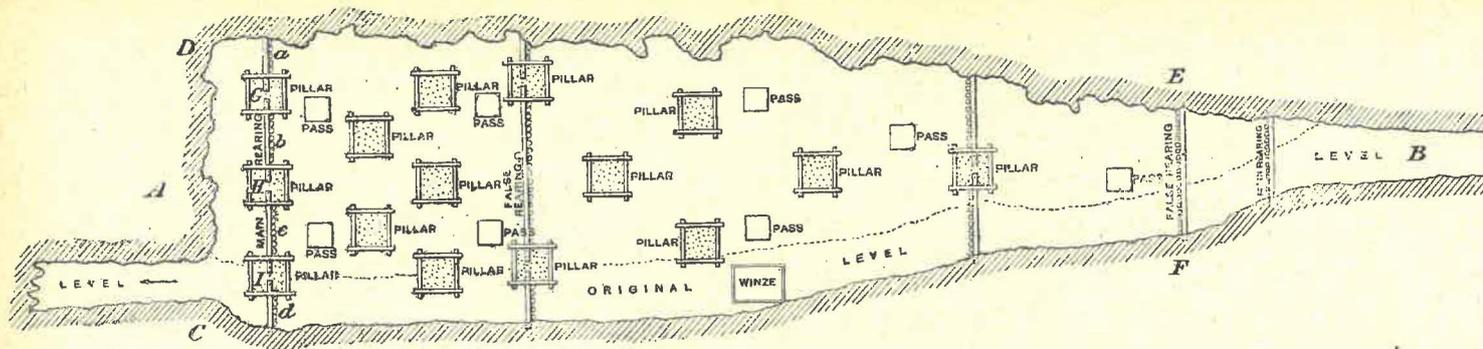


Fig. 10. — Plan.

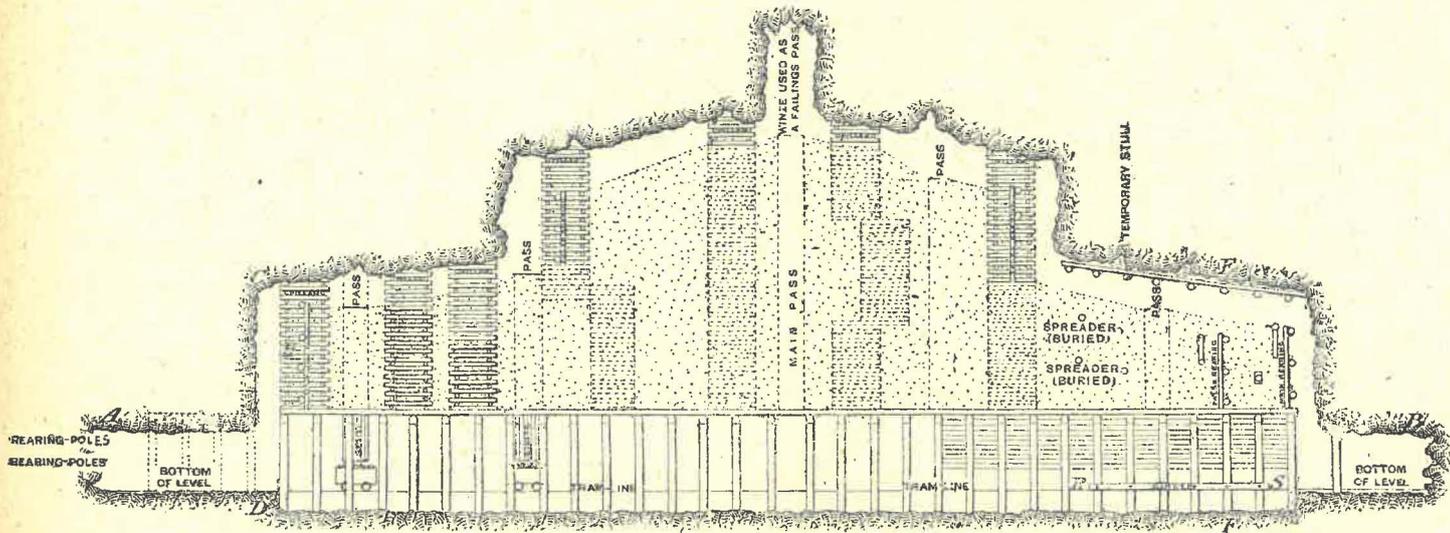


Fig. 11. — Coupe verticale.

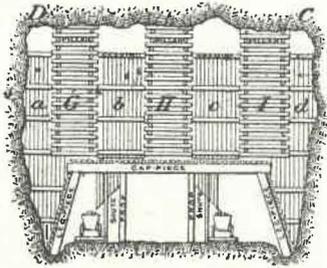


Fig. 12.

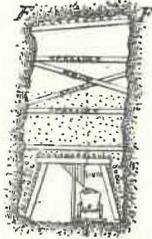
Coupe transversale suivant *CD*.

Fig. 13.

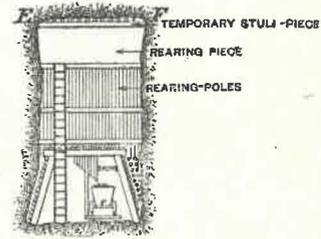
Coupes transversales suivant *EF*.

Fig. 14.

Le filon *y* a une épaisseur variant de 5 à 10 mètres. Le front de taille est maintenu par des piliers (*pillar*) formés de bois recroisés.

Des couloirs ou cheminées (*pass*) laissent descendre les minerais dans la costresse (*level*), où ils sont reçus dans les wagonnets.

L'exploitation s'élève en gradins renversés jusqu'à une coupure supérieure.

Des cloisons de boisages (*rearing*) maintiennent les remblais derrière les fronts des gradins.

Les figures 15 et 16 indiquent le mode de travail quand on passe à un nouvel étage ; la figure 16 indique le cas d'un massif stérile (*horse*) que l'on abandonne dans les remblais.

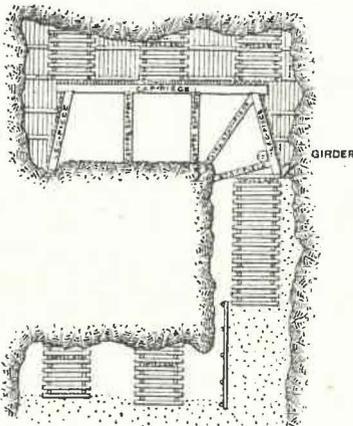


Fig. 15.

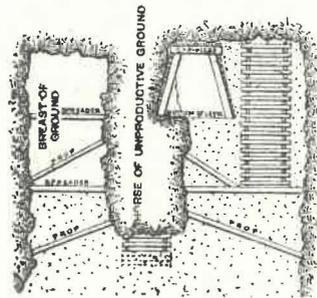


Fig. 16.

même temps d'oscillation longitudinale dont on peut faire varier à volonté l'amplitude et la rapidité, selon le minerai à traiter.

Ce crible, qui a environ 6 mètres de long et 0<sup>m</sup>90 de large, est garni de sortes de réglètes en bois de 7 à 8 centimètres de hauteur et écartées également de 7 à 8 centimètres, qui forment, sur le tamis, une série de petites auges qui maintiennent un fond de tamis composé de grenailles de grosseur et de densité appropriées au minerai à traiter.

Dans le cas présent, le minerai ayant une densité de 4 environ, le fond de tamis est composé de grenailles d'hématite ayant une densité de 5.

Le crible est plongé dans une auge remplie d'eau jusqu'à une dizaine de centimètres au-dessus du tamis; l'eau arrive par des ouvertures latérales sous le tamis.

L'auge est divisée, dans le sens de sa longueur, en un certain nombre de compartiments. Le minerai pulvérisé est amené à une extrémité du tamis par un distributeur automatique. Soumis aux trépidations et aux oscillations du crible, il se classe comme sur une table à secousses, et pénétrant dans le lit de grenailles, il tombe à travers le tamis dans les divers compartiments de l'auge, le minerai le plus dense, et par conséquent le plus riche, tombant évidemment dans le compartiment le plus près du distributeur.

L'installation de Moonta-Wallaroo comprend plusieurs cribles de ce système; les dimensions et les diverses proportions varient suivant l'état plus ou moins menu du minerai qu'on y fait passer.

Environ 4 millions de tonnes de minerai ont jusqu'à présent, dit l'auteur de la notice, passé dans ces appareils dans les mines australiennes où elles sont en usage depuis quelques années.



## L'Electricité.

### *Des dangers des fils de trolley et de leur prévention.*

#### DISCUSSION AU CONGRÈS

Dans notre premier article (1), nous avons donné un résumé assez étendu du mémoire de M. le professeur JAMIESON. Nous croyons intéressant de faire connaître sommairement l'échange de vues qui a eu lieu au Congrès, au sujet de la question examinée par l'auteur. M. B. FIELD fait remarquer que M. Jamieson a parlé des « Dangers provenant des fils aériens *de trolley* et de leur prévention », mais pour être exact, il faudrait dire : les « Dangers résultant *des fils aériens des télégraphes et des téléphones* », puisque ce sont ces fils qui se brisent et qui, de cette façon, sont la cause des dangers dont il s'agit.

Ceux-ci pourraient être écartés si les règlements étaient renforcés ; ces règlements devraient fixer le maximum de portée des fils aériens des télégraphes et des téléphones et les modes de croisement avec les fils de trolley.

L'absence de semblables prescriptions s'explique par le fait que les premiers nommés sont antérieurs en date aux seconds.

Jusqu'à présent, les Administrations des télégraphes et des téléphones ont ordinairement établi leurs fils aériens avec d'aussi longues portées que possible, afin de diminuer le nombre de supports sur les toits des maisons, pour l'établissement desquels, outre la dépense, il y a souvent la difficulté d'obtenir les autorisations nécessaires.

De plus, autrefois, la rupture accidentelle d'un fil n'avait que le minime inconvénient d'interrompre une communication ; mais aussitôt qu'il s'établit un tramway électrique dans le voisinage, la possibilité de la rupture d'un des fils susdits est une cause de danger

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, p. 921.

pour le public. Le *Board of Trade*, au lieu de couper le mal dans sa racine, en exigeant que les fils télégraphiques et téléphoniques soient établis de manière à ne pas se briser continuellement, imagine un système de fils de garde et crée un nouveau danger, lequel, dans certaines circonstances, est presque aussi grand que celui qu'on cherche à éviter, et il oblige les Administrations de tramways à l'adopter.

A Glasgow, il existe, pour les fils télégraphiques et téléphoniques, des portées exagérées; ainsi ces fils croisent souvent les rues sur des angles tellement aigus que, d'un support à l'autre, établis aux deux côtés de la rue, la distance atteint 90 à 120 mètres et même davantage, tandis que des croisements à angles droits réduiraient la portée à 30 ou 40 mètres. M. Field voudrait qu'en semblable cas, l'on obligeât à effectuer les croisements, de manière à ne pas dépasser cette dernière portée, à moins que l'on ne suspende les conducteurs à des câbles.

M. G. R. BLACKBURN fait remarquer que la suppression des fils aériens des télégraphes et des téléphones est une question de temps et de grande dépense. Il est complètement d'accord avec l'auteur en ce qui concerne l'inefficacité et même le danger des baguettes en bois, quel que soit leur mode d'attache aux fils de trolley. Cette inefficacité a été pleinement établie lors du fatal accident arrivé à Liverpool. Ce système a été essayé à Bradford, et l'on a fini par l'abandonner pour les raisons suivantes : 1° Danger des fils des téléphones s'entortillant sur le fil de trolley; 2° Difficulté de les fixer sûrement; 3° Impossibilité de conserver un bon isolement électrique.

Actuellement, la protection la plus efficace est, semble-t-il, le fil de garde mis à la terre et établi selon les règles du *Post Office*, qui ont été rapportées par le professeur JAMIESON. Ce dispositif a été adopté à Bradford et dans d'autres villes, et, quand la mise à la terre est efficacement faite, on a reconnu que c'était le moyen le plus satisfaisant.

Le projet du *Post Office* d'imposer un filet de garde n'est pas recommandable; le déraillement du trolley pourrait le détériorer, à moins qu'on ne le place à une hauteur considérable au dessus du fil de trolley.

L'usage du bronze silicieux pour les fils de garde lui paraît à conseiller. L'emploi d'un coupe-circuit automatique à la station de puissance, convenablement réglé, est indispensable, d'où la nécessité de fils de garde, mis à la terre, à de très fréquents intervalles.

Les boîtes de sections devraient être aussi simples que possible et ne

contenir que le parafoudre, les coupe-circuits du feeder principal et un coupe-circuit pour chaque section de fil de trolley et peut-être, en plus, une connexion pour téléphone. Par l'emploi d'une semblable boîte, il n'y a aucun inconvénient à permettre aux conducteurs, inspecteurs et autres agents d'être porteurs d'une clé pour ouvrir ces boîtes en cas d'accident. A Bradford, ces personnes ont des clés de l'espèce et ont comme instruction de couper *tous* les circuits, afin d'éviter toute incertitude; l'interruption du trafic est diminuée notablement.

A Bradford, chaque voiture a été munie d'un interrupteur de mise à la terre semblable à celui décrit par le professeur Jamieson, et fonctionnant par le bris d'une glace. Cet appareil est, de l'avis de M. Blackburn, le plus efficace pour la neutralisation d'une ligne.

Le professeur JAMIESON, sur une question posée par un délégué belge, M. ERNEST GÉRARD, dit qu'il condamne absolument les fils de garde isolés aux points d'attache. Quand un fil de télégraphe ou de téléphone se brise et tombe sur ces fils et fait en même temps contact avec le fil de trolley sous charge, il s'établit alors un courant dans le fil supérieur, lequel fond les fusibles s'il y en a, ou, dans la négative, détériore les instruments placés aux extrémités. Il peut même arriver que de semblables contacts déterminent des incendies et que des personnes reçoivent des secousses avant que la rupture du circuit ne se produise. Au contraire, avec des fils de garde parfaitement mis à terre, c'est-à-dire à des intervalles rapprochés, le danger est réduit à un minimum.

Les languettes en bois sont à condamner également comme inefficaces.

A défaut de placer les fils de télégraphes et de téléphones souterrainement, on devrait les suspendre à des câbles solides et isolés, et croiser les lignes de tramways presque à angles droits, de manière à réduire la portée autant que possible. Dans ces conditions, les fils de garde deviennent inutiles.

---

*Voitures de chemin de fer à grande vitesse de l'Allgemeine  
Elektricitäts Gessellschaft de Berlin.*

Par O. LASCHE (Berlin)

PRÉLIMINAIRES

L'Association allemande pour l'étude des chemins de fer électriques à grande vitesse a été constituée en vue d'acquérir des données expérimentales sur l'exploitation électrique des chemins de fer à longue distance, aussi bien en ce qui concerne la construction des voitures, la consommation de l'énergie et l'usure de la voie, qu'en ce qui concerne les limites dans lesquelles les chemins de fer peuvent être exploités électriquement.

Jusqu'à ce jour, l'étude théorique de la question n'a présenté qu'un caractère général; les premiers essais pratiques seront commencés à bref délai sur la ligne militaire de Berlin à Zossen, que le Conseil d'Administration des chemins de fer impériaux a mise à la disposition de l'Association précitée.

On a considéré qu'une vitesse de 200 kilomètres à l'heure était un maximum dans l'état actuel de la construction des voitures, mais ceci n'implique, ni que l'objet principal de la ligne expérimentale sera l'obtention de cette vitesse, ni qu'il n'y aura pas moyen de rouler à de plus grandes vitesses encore.

L'essai a pour but spécial l'établissement d'une base certaine pour l'étude, la construction et l'exploitation des lignes aux vitesses usuelles ou à de plus grandes encore.

Il est évident que les expériences à effectuer devront avoir pour but de comparer l'économie des systèmes électriques avec ceux dans lesquels il est fait emploi de la vapeur et de déterminer le coût total de chaque système quand il fonctionne à des vitesses différentes et spécialement aux vitesses les plus élevées. On doit cependant se rappeler que la question de la dépense n'a pas été l'élément principal considéré lors de l'introduction dans la pratique de l'éclairage et du transport de l'énergie par l'électricité. En effet, même actuellement encore, la lumière électrique est souvent beaucoup plus coûteuse

que celle du gaz, et cependant son emploi se développe chaque jour. De même, l'exploitation électrique des chemins de fer recevra un rapide essor, malgré une dépense plus élevée, eu égard au plus grand confort qu'elle offrira. La possibilité de faire rouler des voitures motrices isolées, en succession rapide, constitue un grand avantage en faveur de la traction électrique, avantage fort apprécié par le public. Un autre avantage encore à retirer de la traction électrique consiste dans la possibilité de conserver la voie et les ouvrages d'art existants, malgré le développement du trafic, parce que, au lieu d'employer de plus lourdes locomotives et de plus longs trains, on fera rouler des voitures relativement légères et séparées.

La voie devra être l'objet d'une étude importante et des améliorations notables seront nécessaires; les essais établiront la diminution d'usure produite par ce mode de traction par rapport à celle provenant de l'emploi de locomotives à vapeur.

Les expériences fourniront, il faut l'espérer, des bases, pour le calcul des dépenses d'exploitation des lignes principales, ainsi que les consommations des moteurs aux diverses vitesses, pour l'estimation de l'influence de la résistance de l'air et pour la détermination de l'emplacement des stations génératrices de puissance. La limite inférieure de vitesse à laquelle la traction électrique peut être plus économique que la traction à vapeur est à peu près aussi peu connue que sa limite la plus élevée. Tout ce que l'on sait, se résume en ceci : Avec les locomotives ordinaires, la consommation de vapeur, et plus spécialement de charbon, augmente rapidement avec l'accroissement de la vitesse. En centralisant la production de la puissance, on arrivera probablement à une conclusion différente. De grandes machines à vapeur, bien construites, peuvent alors être employées avec des chaudières pourvues de surchauffeurs et d'appareils à chauffer l'eau d'alimentation. Cette centralisation, et conséquemment l'obtention d'une charge pratiquement constante, est maintenant possible pour de grandes distances.

Le courant alternatif triphasé peut être engendré à une tension de 40 à 50,000 volts de manière à permettre la transmission de l'énergie électrique sans perte sérieuse sur de grands parcours et sur toutes les lignes de chemin de fer d'une grande étendue superficielle, pouvant être ainsi alimentées par une station centrale convenablement située.

NATURE DU COURANT EMPLOYÉ. — Pour les expériences à effectuer, un courant d'une tension ne dépassant pas 10 à 12,000 volts était suffisant et nécessaire; il a été fourni par la station centrale « Oberspree » des usines d'électricité berlinoises, la distance de la station centrale au point le plus rapproché sur le fil de trolley étant d'environ 15 kilomètres. Actuellement, le courant est utilisé dans les moteurs à la tension de 435 volts, par l'intermédiaire de transformateurs montés dans la voiture. Par rapport aux développements futurs, il y aura lieu d'examiner s'il est préférable de conserver le poids considérable des transformateurs dans les voitures ou de réduire la haute tension (environ 50,000 volts) par des transformateurs disposés le long de la voie, à une tension moyenne d'environ 3,000 volts.

La conversion du courant triphasé en courant continu n'est pas pratique pour le service des chemins de fer à grande distance, parce qu'elle réclamerait l'emploi de machines rotatives et conséquemment nécessiterait un personnel spécial, tandis que les transformateurs employés pour faire varier le potentiel du courant triphasé n'ont aucun organe mobile. De plus, le courant continu réclame l'emploi d'un très bas voltage et, par conséquent, de courtes distances entre les stations de transformation. Il peut, toutefois, être nécessaire d'employer le courant continu pour des voitures de chemins de fer à longue distance, quand elles traversent une grande ville, les trois fils du système triphasé pouvant alors présenter des inconvénients aux aiguilles et aux croisements. Une locomotive à petite vitesse pourrait alors être attelée momentanément à la voiture.

PROGRAMME DES RECHERCHES. — Le problème posé à l'A. E. G. était le suivant : construire une voiture motrice pouvant rouler à une vitesse de 200 kilomètres à l'heure et contenir 50 voyageurs. La voiture serait à deux bogies, avec trois axes chacun, et les moteurs seraient disposés pour une puissance totale de 1,100 chevaux normalement, avec possibilité d'atteindre un maximum de 3,000 chevaux. Le courant électrique utilisé serait triphasé à la tension de 12,000 volts et avec une fréquence de 50 périodes. Le poids des voitures serait aussi faible que possible et ne pourrait excéder 8 tonnes par roue ; le profil serait tel que les voitures fussent d'un gabarit à permettre leur passage sur les lignes du chemin de fer de l'État.

La seconde partie du mémoire de M. Lasche contient la description

du type de voiture adopté et de son dispositif électrique. Dans la première partie, l'auteur décrit quelques expériences et recherches préliminaires, comme présentant un intérêt particulier en vue de la nouveauté de tout le système.

La voiture expérimentale, destinée à rouler dans la suite d'une façon permanente, après la fin des essais, ne peut être comparée ni avec le tram-car ordinaire, ni avec les locomotives à faible vitesse, car les moteurs, les transformateurs et les appareils de démarrage et de régulation sont d'un type entièrement nouveau.

Dans la première section, l'auteur donne la relation des recherches faites en vue d'obtenir le poids le plus réduit, tant pour la voiture que pour l'équipement électrique, c'est-à-dire : transformateurs, moteurs, etc.

En considération de la haute vitesse à atteindre, on a jugé nécessaire de chercher les moyens de soulager les axes du poids considérable des moteurs, ou tout au moins d'éviter que ceux-ci n'en soient directement chargés ; c'est ce qui fait l'objet de la section II.

L'appareil de démarrage et de régulation ne pouvait être construit, pour une puissance de 3,000 chevaux, sur le même type que celui adopté dans les *controllers* ordinaires pour voitures prenant à peine 100 chevaux. Des expériences, rapportées dans la section III, ont été effectuées sur une grande échelle, dans le but d'essayer le dispositif finalement adopté.

Le freinage à une vitesse de 200 kilomètres à l'heure, au moyen de freins à frottement ordinaires (avec une vitesse périphérique de 56 mètres par seconde) ne pouvait convenir ; il a fallu conséquemment trouver des moyens de freiner électriquement ; cette question est examinée dans la section IV.

Un grand nombre d'autres détails ont également dû être examinés, notamment, les coussinets des moteurs qui doivent travailler à une vitesse périphérique d'environ 14 mètres par seconde et les anneaux collecteurs des armatures à une vitesse de 40 mètres environ. Les trolleys ont réclamé une étude spéciale et ont donné lieu à la résolution d'un problème des plus difficiles (voir section V).

## PREMIÈRE PARTIE

*Recherches et expériences préliminaires***I. — Poids de l'équipement électrique.**

Pour permettre à la voiture de rouler soit en avant, soit en arrière, on a d'abord proposé de construire une plateforme de conducteur contenant les appareils de démarrage nécessaires, à chaque extrémité. La construction devait permettre de « contrôler » même les moteurs du bogie d'arrière à l'aide du dispositif de démarrage d'avant. L'arrangement des câbles, requis à cette fin, démontra qu'il était impraticable pour une puissance de 3,000 chevaux. Le problème fut simplifié en divisant l'appareil électrique en deux circuits et en opérant à distance sur le dispositif de démarrage d'arrière, soit au moyen d'un électro-moteur, ou de l'air comprimé, ou de l'eau sous pression ou de tout autre procédé.

Dans un deuxième modèle, la cabine du conducteur fut placée au milieu de la longueur de la voiture, tout en conservant les deux circuits séparés. Bien que, à cause de la grande vitesse, l'inspection de la voie soit impossible sur les trente derniers mètres, l'arrangement fut encore modifié et l'on plaça les deux plateformes du conducteur aux deux extrémités de la voiture, tout en cherchant à ménager la vue, tant à l'avant qu'à l'arrière, pour l'agrément des voyageurs.

Tout l'appareillage, le câble et les dispositifs de sécurité sont installés dans le compartiment central lequel, ayant les transformateurs en dessous, est séparé des compartiments à voyageurs par des conduits à double paroi en fer pour la circulation de l'air. Le conducteur se tient constamment debout à l'avant de la voiture dans laquelle il n'y a pas de connexions à haut voltage. La manœuvre est effectuée de la plateforme du conducteur par transmission mécanique.

Il a déjà été signalé que les transformateurs devaient être montés dans les voitures mêmes, bien qu'ils augmentent notablement le poids de celles-ci.

La question de l'échauffement et du refroidissement du fer et des bobines de cuivre est de la plus haute importance dans l'espèce. Le refroidissement des transformateurs par de l'air pris en dessous de la voiture est impossible, à cause de la grande quantité de poussière soulevée dans un voyage à grande vitesse. On a reconnu qu'on pouvait réduire notablement le poids en faisant passer l'air à travers les noyaux des transformateurs. Deux conduits d'air sont ménagés dans

le toit de la voiture et sont disposés, l'une à l'avant, pour l'admission de l'air frais, et l'autre, en arrière, pour son émission après échauffement. Des précautions spéciales ont été prises pour que, en cas de temps pluvieux, l'air soit privé de son humidité avant de pénétrer dans les noyaux des transformateurs.

Comme il sera exposé dans la suite, on réalisa une grande économie de poids par l'emploi d'un rhéostat de démarrage liquide d'une construction entièrement nouvelle, au lieu du dispositif à bobines employé primitivement; le poids descendit de 9,000 à 4,500 kilog. par cette modification.

Les modèles de voitures étudiés ont conduit, pour l'équipement électrique, aux poids successifs ci-après : Modèle I, 47,600 kilog.; II, 44,600 et III, 29,850 kilog., en y comprenant les poids des transformateurs qui sont respectivement de : Modèle I, 13,000 kilog.; II, 13,000 kilog. et III, 6,500 kilog.

La voiture pèse, tout équipée et y compris 50 voyageurs, 85 tonnes, dans le dernier modèle étudié. Dans celui-ci, les moteurs ne sont pas enfermés. On a reconnu que le refroidissement était suffisant, même en marche continue, au simple contact de l'air, les surfaces externes des moteurs étant munies de nervures. On n'a adopté aucune disposition spéciale pour l'admission de l'air dans les dits moteurs; on ne pouvait faire de prise par en dessous à cause de la poussière soulevée et on n'a trouvé aucun moyen convenable pour la faire par dessus.

## II. — Montage des moteurs.

Entre les deux solutions extrêmes : *a*) le corps de la voiture monté sans ressorts directement sur les axes, et *b*) chaque partie étant montée sur ressorts, on peut réaliser un grand nombre de combinaisons.

Après une longue série d'essais que l'auteur expose en détail et à l'aide de nombreux croquis, on s'est arrêté au mode de suspension représenté en partie dans la fig. 22 et dont la description sommaire est la suivante. Deux trucks à trois essieux portent chacun deux moteurs d'une puissance normale de 250 chevaux pouvant atteindre momentanément 750 chevaux; l'induit ou rotor de chaque moteur est monté sur un manchon tubulaire flottant autour de l'essieu. Ce manchon entraîne les roues motrices correspondantes par l'intermédiaire de trois paires de ressorts à lames radiaux encastrés au gros bout dans une pièce triangulaire calée sur ce manchon, et dont les

bouts minces s'appuient par des poussards contre des pièces de butée, boulonnées aux roues, près de la périphérie. La carcasse du stator, supportant le manchon du rotor, est soutenue par des bras qui vont prendre appui directement sur la boîte à graisse, avec interposition de ressorts spéciaux n'ayant qu'un jeu de quelques millimètres. Le diamètre des roues adopté en dernier lieu est de 1<sup>m</sup>250 afin de

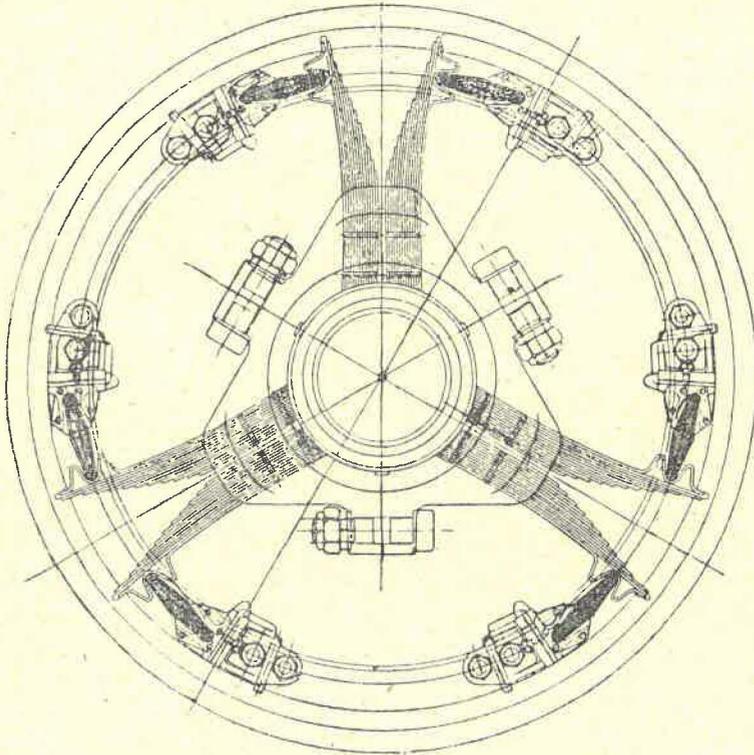


FIG. 22.

permettre une meilleure utilisation de la forme imposée par le gabarit ; pour une vitesse de 225 kilomètres à l'heure, le nombre de tours par minute des roues motrices est d'environ 960, avec le diamètre précité.

On fit aussi de nombreux essais relatifs à la lubrification des coussinets. Ces essais furent effectués presque exclusivement avec

des coussinets de métal blanc et des axes d'acier au nickel ; quelques-uns furent aussi effectués avec de l'acier fondu et avec des coussinets de métal magnolia. En ce qui concerne le mode de graissage, on adopta d'abord une alimentation d'huile sous pression à travers toute la voiture avec des tuyauteries encombrantes, surtout pour permettre le mouvement tournant des bogies et les mouvements relatifs entre les axes et le corps de la voiture. On en revint au système d'alimentation séparée, mais, au lieu d'employer l'anneau de lubrification ordinaire, on fit usage d'un disque uni de grand diamètre, monté concentriquement sur l'axe, qui élevait la grande quantité d'huile nécessaire d'une façon parfaite sans produire de mousse. Des expériences furent effectuées à des vitesses variant de 2 mètres (la vitesse normale) à 25 mètres par seconde et à des pressions allant de 2 à 5 kilogrammes par centimètre carré, de manière à déterminer la relation entre la vitesse, la pression des coussinets et la température. Le résultat complet de ces expériences n'a pas encore été publié.

### III. — Démarreurs.

Dans les recherches concernant l'aménagement de la voiture et l'arrangement de l'équipement électrique pour arriver à un minimum de poids, nous avons mentionné que le démarreur était monté au milieu de la voiture de manière à permettre un développement aussi faible que possible des câbles. Au début, le circuit primaire du moteur fut muni d'un commutateur permettant de renverser le sens du roulement, d'arrêter et de ralentir la marche des moteurs, soit par un contre-courant, soit en connectant les enroulements du stator avec une batterie d'accumulateurs.

On décida d'abord d'employer des démarreurs liquides analogues à ceux en usage pour produire le démarrage des petits ou des grands moteurs. Ceux-ci consistent en tôles de fer qu'on insère progressivement dans le circuit d'armature en les plongeant dans le liquide approprié; on rompt le circuit en retirant les dites tôles de ce dernier. La résistance varie avec l'étendue des surfaces immergées et conséquemment le glissement de l'armature relativement au nombre théorique de révolutions qu'elle devrait accomplir. Les inconvénients de ce démarreur sont suffisamment connus surtout quand il doit servir d'appareil de réglage. La fermeture du circuit par l'introduction d'une résistance, donne lieu à un échauffement très rapide de l'eau, qui ne tarde pas à entrer en ébullition.

Ensuite, pour des raisons de construction, les électrodes ne peuvent être placées à une distance suffisamment rapprochée pour produire un court-circuit, même quand elles sont complètement immergées, et il est conséquemment nécessaire d'employer un dispositif métallique de mise en court-circuit. Enfin, dans le cas de grands moteurs, un inconvénient résulte du déplacement de lourdes électrodes.

L'A. E. G. a construit de semblables rhéostats liquides pour des moteurs atteignant une puissance de plusieurs centaines de chevaux. On essaya aussi d'autres modes de construction dans lesquels les plaques d'électrodes étaient fixes et le liquide passait d'un réservoir spécial dans le bassin-électrode. On proposa aussi l'emploi d'un semblable dispositif dans lequel on utilisait l'air comprimé pour élever le liquide, mais les inconvénients ci-dessus mentionnés, nécessitèrent au début l'emploi de démarreurs métalliques.

Les exigences spéciales du cas considéré, notamment l'utilisation d'un espace restreint, l'usage continu de l'appareil de réglage, l'établissement de contacts et de connexions bien en vue, et la certitude d'une manœuvre facile et sûre de la plateforme du conducteur, créaient une tâche difficile pour l'auteur du projet, en vue de la puissance de 3,000 chevaux à employer.

L'appareil de démarrage et de réglage doit être proportionné pour la force maxima, parce que, pendant la commutation, les moteurs doivent développer leur pleine puissance. On emploie des rhéostats distincts pour chaque moteur et pour chaque circuit de rotor; dans le but de diminuer le nombre de rhéostats correspondants aux quatre moteurs, on fit usage de rotors roulés à deux phases, de sorte que huit rhéostats au lieu de douze étaient seulement nécessaires. Quand les moteurs démarrent, un grand nombre de bobines de résistance doivent être mises dans le circuit de l'armature, de manière que chaque moteur reçoive d'une façon graduée son plein voltage et tout le courant.

Plus le nombre de crans est grand, plus sont nombreuses les résistances et plus sont incommodes les connexions des câbles. Avec la puissance de 3,000 chevaux dont il s'agit, il paraît presque impossible de faire en sorte que les câbles soient accessibles. Le nombre minimum de crans à adopter est déterminé par l'intensité du courant d'armature et par son voltage. La différence de potentiel d'un cran au suivant, c'est-à-dire d'un contact à l'autre, doit être maintenue dans de certaines limites, de manière à éviter les étincelles quand même on prend la précaution de souffler les arcs.

Il a été admis, pour le projet d'expériences, que la vitesse de la dynamo fournissant le courant pouvait être considérablement réduite, de manière qu'il y ait une réduction proportionnelle de la vitesse de la voiture; mais cela ne suffit pas, parce que, bien qu'il soit possible de tourner à demi-vitesse, une vitesse même de 100 kilomètres à l'heure est encore trop élevée pour le commencement des voyages d'essai. Il était ainsi nécessaire de compter sur l'introduction permanente de résistances dans le circuit. Par conséquent, les bobines de résistance ainsi introduites en circuit seules peuvent chauffer, les autres préalablement coupées ne sont pas utilisées.

Pendant qu'on faisait ces investigations, le problème de la construction d'appareils de démarrage et de réglage pour de puissantes machines d'extraction de mines, se présenta à l'A. E. G. Il parut impossible d'appliquer les systèmes connus, convenant pour une puissance maxima de 100 chevaux environ, à un projet comportant une puissance de 3,000 chevaux.

Le problème fut résolu en appliquant un dispositif de démarrage liquide, conçu sur un principe entièrement nouveau. La figure 23 montre un exemple de ce démarreur. Un moteur à courant triphasé de 200 à 400 chevaux est accouplé directement à un volant très lourd. Dans le but d'amener celui-ci en pleine vitesse en 15 secondes, un torque (couple) correspondant à 400 chevaux doit être atteint. Avec la même puissance, un autre volant fut amené à tourner à pleine vitesse en 1 1/2 à 2 minutes. Le premier cas rencontre les exigences d'une machine d'extraction et le dernier celles d'une voiture à grande vitesse.

La figure montre à l'avant une petite pompe centrifuge conduite par un électromoteur qui élève le liquide d'un réservoir placé dans la fondation et le livre continuellement au bassin dans lequel plongent les électrodes. La pompe fonctionnant sans cesse, il se produit un renouvellement et un mélange continu du liquide. En déplaçant une tige verticale, on ferme une valve située au fond du réservoir de façon à supprimer la décharge de l'eau. Celle-ci commence ensuite à s'élever dans le bassin et les circuits d'armature se ferment, de sorte que le moteur démarre, mais avec une résistance en circuit considérable. Le liquide montant dans le bassin-électrodes, la résistance décroît et le moteur tourne plus rapidement. En conséquence, pour une charge donnée, chaque niveau du liquide correspond à une certaine vitesse du moteur. A l'aide d'un trop-plein dans le bassin-électrodes, le niveau du liquide peut être réglé aisément, et,

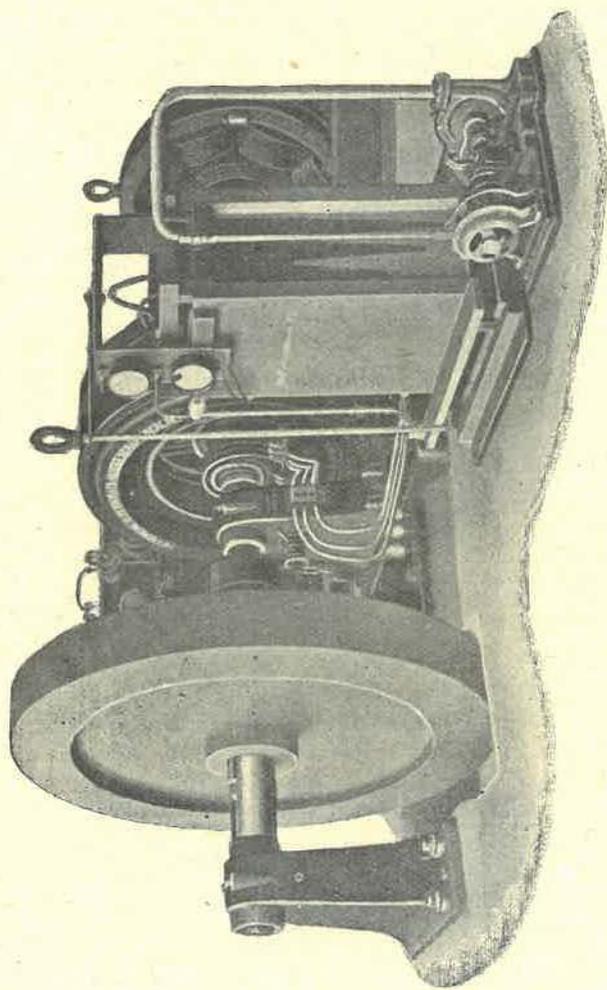


Fig. 28.

conséquemment, le moteur peut tourner à la vitesse requise, comme, par exemple, dans le cas d'une machine d'extraction, pendant l'inspection du puits ou pendant la translation du personnel, et dans le cas considéré, quand il est nécessaire de ne faire tourner la voiture qu'à une vitesse de 50 à 60 kilomètres à l'heure.

Les plaques d'électrodes sont très larges, sauf à la partie inférieure où elles sont terminées en forme de fourches de différentes longueurs. L'arrangement est tel que la plus longue fourche de la première plaque est placée dans une situation diagonalement opposée à la même de l'autre électrode; de cette façon, non seulement les surfaces plongeantes sont petites, mais encore la distance entre elles, c'est-à-dire le chemin que le courant doit parcourir à travers le liquide, est considérable.

Par conséquent, la surface immergée des plaques peut, par suite de la grande distance, être considérablement plus grande que dans le cas où le courant de même intensité doit effectuer un trajet plus court. Il en résulte que tout surchauffement des extrémités tel qu'il s'en produisait avec l'ancien système est rendu impossible. D'autre part, les plaques d'électrodes sont très rapprochées au sommet et on fait usage d'un plus grand nombre de ces dernières qu'auparavant, dans le but d'obtenir une surface très grande pour la conduite du courant et ainsi, de réduire à un minimum la résistance du liquide au passage de celui-ci et d'obvier à l'emploi de contacts métalliques de court-circuit.

La différence essentielle entre le nouveau démarreur et ceux précédemment employés consiste dans la circulation du liquide, fait qui suffit seul à en assurer l'usage. Il est facile de calculer quelle quantité de chaleur est communiquée au liquide par la résistance pour toute charge donnée ou pour un décroissement donné de la vitesse normale, et l'emploi de l'eau rend aisée la dissipation de cette chaleur. La surface de refroidissement nécessaire dans ce but peut être promptement calculée et, dans la présente construction de la voiture à grande vitesse, on dispose de systèmes de tubes de cuivre de petit diamètre formant un serpentín, à travers lequel l'eau chauffée doit passer après avoir quitté le bassin-électrodes et avant qu'elle ne soit employée à nouveau. Conséquemment, le nouveau démarreur à rhéostat liquide est capable de fournir une grande résistance, pouvant être maintenue en circuit d'une façon permanente, et le moteur peut ainsi tourner continuellement à une aussi faible vitesse qu'on le désire.

La période de démarrage du moteur, c'est-à-dire la période s'éten-

dant du repos jusqu'au moment où la résistance est complètement coupée, est déterminée par la vitesse avec laquelle le liquide se rend au bassin-électrodes. Si l'on insère une valve dans le tuyau conduisant de la pompe centrifuge à ce bassin, la vitesse à laquelle ce liquide est livré peut être réglée à volonté, de même que la période de démarrage. De cette façon, on peut empêcher le conducteur du train de réduire le temps requis pour le démarrage; d'autre part, le conducteur peut, par une fermeture lente et incomplète de la valve inférieure ou de décharge, diminuer la vitesse pour arrêter et freiner sur l'espace voulu. En semblable occurrence, le conducteur peut faire rouler la voiture à une si faible vitesse que ce soit, en gardant la valve inférieure partiellement ouverte. La vitesse est en conséquence sous un contrôle parfait. L'action continue de cet appareil permet un démarrage et un freinage sans secousse. La force nécessaire pour le manœuvrer étant très faible, il peut être commandé promptement à distance, sans le secours de l'air comprimé ni de l'électricité, par un simple volant à main.

#### IV. — Freins.

Le système de freinage électrique à l'aide de moteurs a été également essayé avec le dispositif expérimental qui avait été construit pour essayer le démarreur.

La voiture est équipée avec un frein à air comprimé Westinghouse, divisé en deux parties pour chacun des deux bogies. Ces freins sont manœuvrés de la plateforme du conducteur. Bien qu'on puisse admettre, jusqu'à un certain point, que le frein d'un des bogies constitue une réserve pour l'autre, on ne jugea pas possible de se dispenser d'un second frein, lequel fut actionné par les moteurs eux-mêmes.

L'action freinante peut être effectuée, au moyen des moteurs, de deux manières différentes. Dans la première méthode, le stator du moteur est excité par un courant continu et le rotor est graduellement mis en court-circuit, de manière que le moteur travaille comme une génératrice sur la résistance; dans la seconde méthode, la direction du courant dans le champ tournant est changée, de manière à produire une tendance à tourner en sens opposé.

Quand le circuit du moteur est rompu par l'ouverture de la valve de décharge du rhéostat liquide, le champ tournant est interrompu et le circuit inducteur est mis en communication avec une batterie d'accumulateurs placée dans la voiture, ou bien le courant est ren-

versé dans deux de ses trois phases. Après que la commutation a été effectuée d'une manière ou de l'autre, le circuit d'armature est de nouveau graduellement fermé, c'est-à-dire que le liquide fait contact sur une très grande résistance et le niveau du liquide est ensuite élevé ou abaissé à volonté, suivant les circonstances.

Il ne suffit pas de freiner à l'aide d'un contre-courant, parce qu'il pourrait arriver que le courant vienne à manquer pour une raison quelconque, comme, par exemple, par la fusion d'une sûreté au moment même de l'application du frein. L'emploi d'un contre-courant présente encore un inconvénient. Par suite de la construction électrique du moteur et du potentiel choisi d'environ 430 volts pour le champ d'excitation, l'armature a une tension d'environ 325 volts en circuit ouvert. Après le renversement du champ, la tension dans l'armature augmente à pleine vitesse jusqu'à près du double, c'est-à-dire jusque environ 650 volts. Quoique le rhéostat liquide soit établi pour ce voltage et que l'armature du moteur soit en état de le supporter, ayant été essayée à 4,000 volts, il serait imprudent de faire dépendre le fonctionnement du frein d'une tension aussi élevée, précisément au moment où cet appareil entre en jeu et où l'on redoute un danger.

Ces raisons ont conduit à l'adoption d'un frein basé sur le second principe, et dans ce but, on utilise deux batteries d'accumulateurs entièrement distinctes, correspondant aux deux réservoirs du frein Westinghouse. Il est entendu que le frein électrique doit être employé aux grandes vitesses et que le frein à air doit seulement être appliqué à la fin du voyage. On dispose aussi d'un frein à main pour agir sur le bogie d'avant.

## V. — Archets de trolley.

Le courant est capté à trois conducteurs superposés dans un plan vertical pour être amené dans la voiture par des collecteurs en forme d'archets. Ce système permet un contact plus sûr que celui de prise de courant habituel par dessous. Ces archets sont montés sur des arcs métalliques reliés à la voiture par des tringles articulées et à ressorts. Ces tringles sont obliques et vont prendre pied respectivement sur trois supports placés, l'un derrière l'autre, au sommet de la voiture et à peu près au dessus du centre de chaque bogie, de manière à éviter une variation trop considérable de la pression des archets dans le passage en courbe; l'appareil de captage du courant est double, pour le cas où l'un d'eux ne serait plus accidentellement en service.

## DEUXIÈME PARTIE

*Description de la voiture et de son équipement électrique.***I. — Le corps de la voiture.**

La voiture, construite spécialement pour recevoir l'équipement électrique, sort des ateliers de la firme Van der Zypen et Charlier de Deutz-Cologne et peut recevoir 50 voyageurs (fig. 26 et 27). La longueur de la voiture est de 21 mètres et la distance entre les buttoirs de 23<sup>m</sup>10; la largeur totale est de 2<sup>m</sup>60; le corps de la voiture rentre dans les limites du gabarit réglementaire. Les fenêtres sont fermées, la ventilation se produisant par les ouvertures des lanterneaux. A chaque extrémité, des portes sont ménagées des deux côtés pour la montée et la descente des voyageurs. La plateforme de manœuvre est séparée du compartiment à voyageurs par une large cloison s'étendant sur toute la hauteur et servant de support d'arrière au conducteur ou wattman. Cette plateforme est inaccessible aux voyageurs, de même que la cabine centrale, sans cependant entraver la circulation des voyageurs d'un compartiment à l'autre. Ni les plateformes du conducteur, ni les compartiments susdits ne présentent de parties portant du courant. Les archets de trolley sont fixés à l'aide de deux isolateurs en série, chacun étant essayé pour un potentiel de 20,000 volts. Le courant à haute tension passe des archets aux transformateurs par des câbles à haut voltage qui, bien qu'ayant été essayés pour 20,000 volts, sont placés sur des isolateurs à haute tension. Il existe des conduites d'air formant double enveloppe entre la cabine centrale et les compartiments à voyageurs et entre ceux-ci et les transformateurs qui sont placés en dessous. Les batteries d'accumulateurs, placées côte à côte avec les transformateurs, sont également séparées par des doubles enveloppes métalliques. La forme de la voiture a été établie pour présenter la plus faible résistance à l'action de l'air, mais les renseignements précis sont encore à déterminer sous ce rapport ainsi qu'en ce qui concerne l'influence du vent.

**II. — Les bogies.**

Les deux bogies qui portent le corps de la voiture sont éloignés de 13<sup>m</sup>30. Les diamètres des roues sont de 1<sup>m</sup>25 afin de permettre un mouvement tournant suffisant des bogies sous la voiture sans nécessiter aucune différence dans le niveau du plancher en aucun point du

véhicule. Chacun des bogies a trois axes; les deux axes extrêmes portent les moteurs, tandis que celui du milieu porte le pivot et les cylindres à air du frein Westinghouse. La distance entre les roues mesure  $2 \times 1^m90$ . La charge de chaque axe est moindre que le maximum permis et s'élève à un peu plus de 14 tonnes. Il n'existe pas de ressort portant contre le corps de la voiture. Les bogies sont supportés sur les axes par deux jeux de ressorts et chaque boîte à graisse porte un fort ressort plat, aux extrémités duquel sont attachés des ressorts pour porter le bâti. Sur les boîtes à graisse repose le sabot du ressort d'axe; des ressorts plats sont disposés pour porter le moteur. La connexion entre chacun de ces ressorts et le bâti du moteur est établie par une pièce courbée contre laquelle porte le ressort, on peut faire varier l'action du ressort par ce dispositif. Pendant les premiers millimètres de flexion, il agit comme un ressort très doux, il devient ensuite graduellement plus rigide et quand la flexion est de 8 à  $10^m/m$ , il est complètement tendu. Dans le cas presque impossible où ces forts ressorts viendraient à se briser, le moteur serait supporté par l'axe de la roue avec interposition d'une garniture métallique appropriée, placée contre le moyeu de la roue. Le choix de cette garniture doit être tel que la matière soit assez douce pour protéger l'axe et l'arbre creux du manchon, tout en étant d'une résistance suffisante pour porter sans avarie la voiture jusqu'au prochain arrêt. Les moteurs sont fixés à un bâti formé de tôles rivées ensemble et sont protégés contre tout mouvement latéral par des coulisseaux qui portent contre un guide correspondant sur le bâti du bogie. Le stator est mis dans l'impossibilité de tourner par des barres qui permettent seulement un mouvement vertical du moteur. (Fig. 24 et 25.)

### III. — Les moteurs.

Chacun des quatre moteurs est calculé pour une puissance normale de 250 chevaux et pour une puissance maxima de 750 chevaux. La vitesse du moteur est d'environ 960 révolutions par minute, ce qui correspond à une vitesse de roulement de 225 kilomètres à l'heure. La tension de 12,000 volts à laquelle le courant est capté aux fils conducteurs est réduite à 435 volts dans les transformateurs.

Bien que le moteur tel qu'il a été précédemment décrit ne soit pas sujet à de forts chocs mécaniques, on a jugé néanmoins convenable, pour assurer une sécurité permanente de marche, d'avoir de simples barres placées dans des rainures séparées au lieu de nombreux fils isolés l'un de l'autre par une enveloppe de coton. L'isolement des

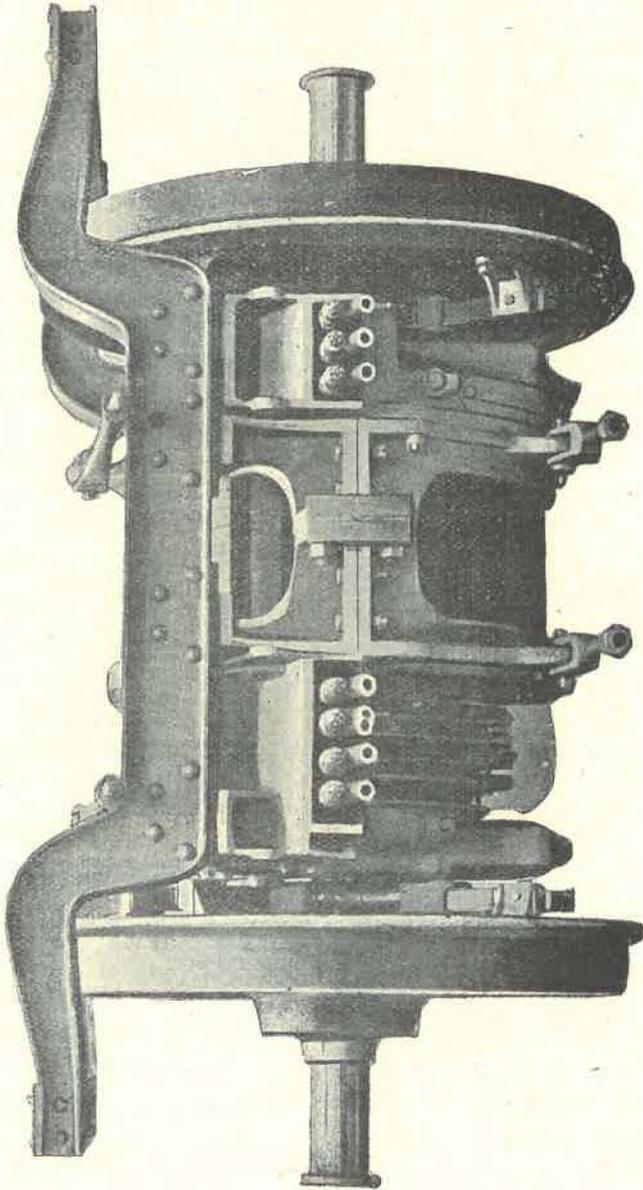


FIG. 24.



barres de fer est obtenu par de la micanite. Pour des raisons de facilité dans le démarreur et les arrangements du câble, le rotor fut enroulé seulement pour deux phases et non pas, comme d'habitude, pour trois phases.

Le stator porte l'arbre creux ou manchon sur lequel le rotor est monté au moyen de deux paliers; un de ceux-ci porte sur sa moitié supérieure l'équipage de balais pour établir le contact avec les anneaux du collecteur et les connexions pour les câbles du circuit de l'armature qui conduisent à l'appareil de réglage. Les câbles du circuit du stator passent à travers l'autre palier. Les parties inférieures des paliers peuvent être aisément enlevées pour permettre le remplacement des coussinets et pour donner un libre accès au porte-balais.

La matière employée pour les coussinets est l'alliage dit *métal blanc* généralement employé sur les chemins de fer de l'Etat prussien; l'acier au nickel a été adopté pour le manchon, tant à cause de sa grande résistance qu'à cause du poli qu'il est susceptible de recevoir.

La distance radiale entre le manchon et l'axe est de  $30^{\text{mm}}$ . Des anneaux en cuivre sont chassés de force dans les manchons aux deux extrémités, à fleur du moyeu des roues. Le manchon est empêché de se déplacer latéralement, d'un côté, par un des paliers et, de l'autre, par un guide, de manière que la dilatation provenant de l'échauffement ne puisse produire de contact entre l'axe et le palier. Les accouplements à ressorts sont fixés à l'arbre creux aux deux extrémités; ils ont été décrits précédemment.

#### IV. — Transformateurs.

Les trois noyaux des transformateurs sont disposés côte à côte conformément aux brevets de l'A. E. G., les axes des noyaux étant parallèles au long côté de la voiture. L'enroulement du bas-voltage est effectué à l'aide d'une spirale massive de cuivre et est séparé de l'enroulement extérieur du haut-voltage par un cylindre de micanite. Un fort courant d'air passe à travers un canal longitudinal ménagé dans chacun des trois noyaux en fer et aussi à travers l'espace existant entre les noyaux carrés et la bobine ronde intérieure.

Ainsi qu'il a été mentionné précédemment, l'air pénètre par de grands trous dans le toit de la toiture et est conduit aux transformateurs; avant de pénétrer dans ces derniers, il est filtré dans des réseaux de fils à larges mailles; l'eau de pluie est écartée des tubulures de prise d'air par un fer d'angle placé sur le toit.

Malgré ces précautions, l'air est seulement amené en contact direct avec l'intérieur des noyaux du transformateur et non pas avec les parties portant du courant. Les noyaux sont supportés au milieu de leur longueur pour obvier à toute déformation due aux vibrations de la voiture. Les transformateurs sont suspendus au corps de celle-ci par des boulons, de manière que les tôles latérales ne servent que d'enveloppes et ne supportent aucun effort.

#### V. — Câbles.

Le courant est capté de chacun des conducteurs triphasés à l'aide de deux archets de trolley placés en parallèle. La partie supérieure de chacun des bras porte plusieurs tiges en aluminium attachées au moyen d'étroits ressorts plats. Les masses de tiges individuelles doivent être suffisamment petites pour assurer un contact permanent avec le fil. (Fig. 27.)

La tête du bras portant l'archet est tirée d'une tôle d'aluminium et est reliée à la base verticale par des tiges, la base étant montée sur des paliers à billes dans la douille sur la voiture. L'archet est pressé contre le conducteur aérien par des ressorts dont la tension est réglée au moyen de cames. Le courant est amené par des conducteurs isolés de la tête du bracket au pied des bras qui prennent le courant et est alors transmis aux câbles fixés au sommet de la voiture.

L'établissement ou la rupture du contact entre les archets et les conducteurs aériens est effectué de l'intérieur de la voiture, de manière que les archets puissent être rendus neutres avant que personne ne monte sur le toit.

Tous les conducteurs à haute tension doivent avoir été soumis à un essai d'isolement de 20,000 volts, mais sont néanmoins montés sur des isolateurs à haute tension, comme s'ils étaient des fils nus.

Des fusibles sont fixés contre chaque archet; ils fonctionnent aussitôt qu'un contact est établi pour une cause quelconque entre une phase et la voiture mise à la terre. Les conducteurs des deux systèmes de collecteurs conduisent des fusibles au coupe-circuit à haute tension; ce dernier ne sert que pour couper le courant à la fin du voyage et n'est pas utilisé en service ordinaire. Le commutateur peut être manœuvré de la cabine centrale ou de chaque plateforme, de manière qu'il serve également d'appareil de sûreté en cas d'accident.

Les deux branches du courant passent séparément de ce commutateur principal aux transformateurs de chaque bogie. Chacun de ces

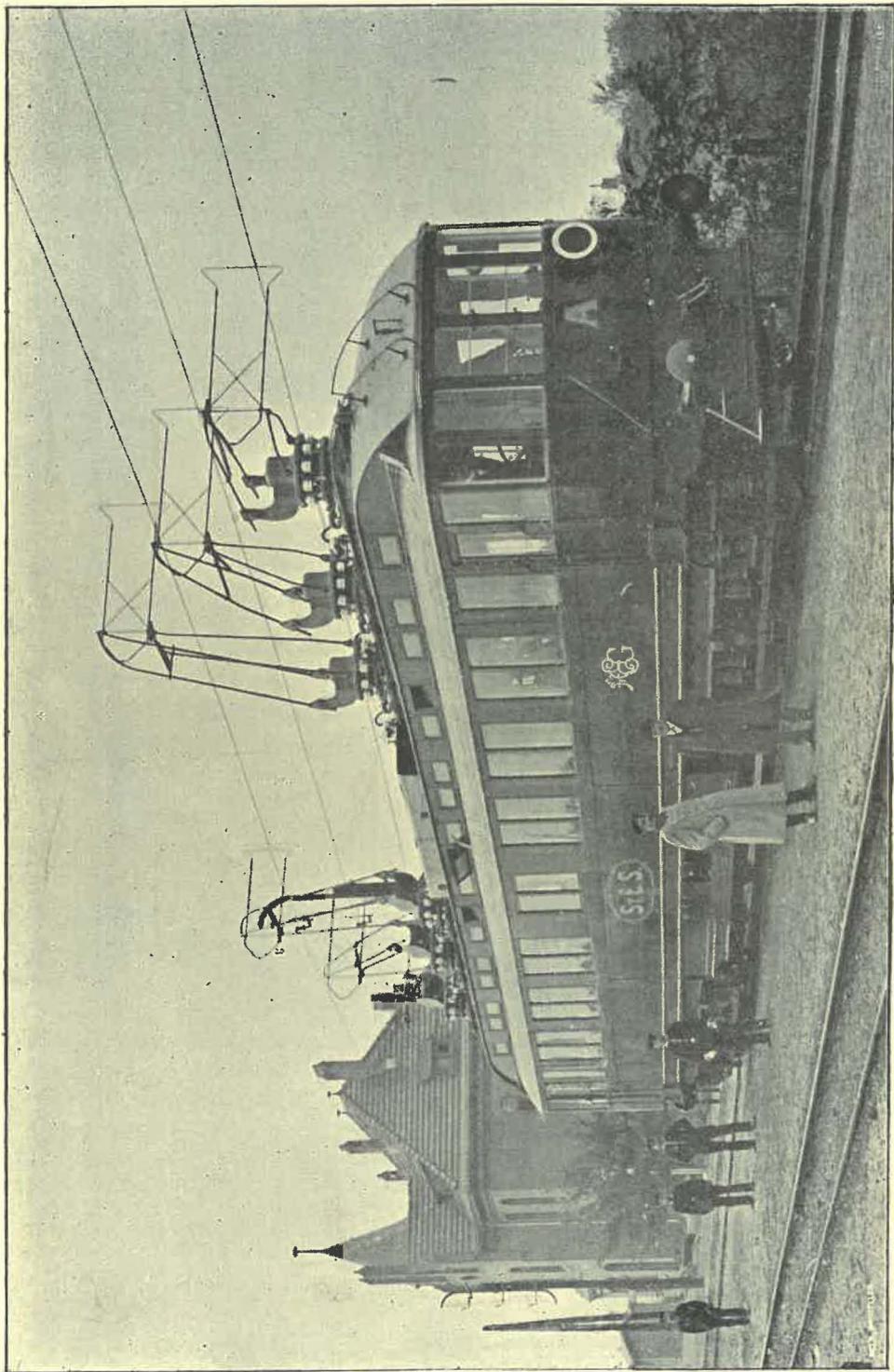
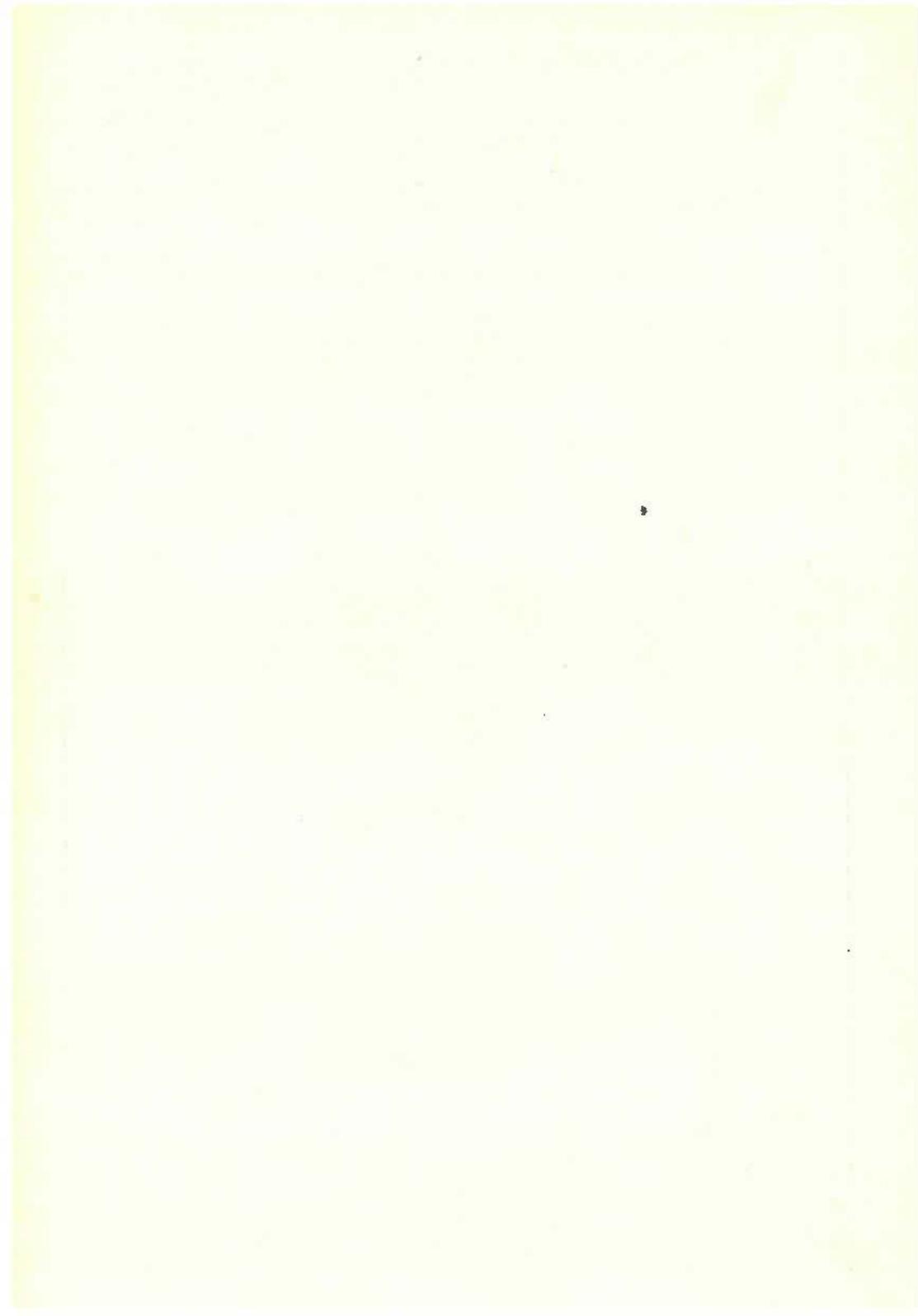


FIG. 26.



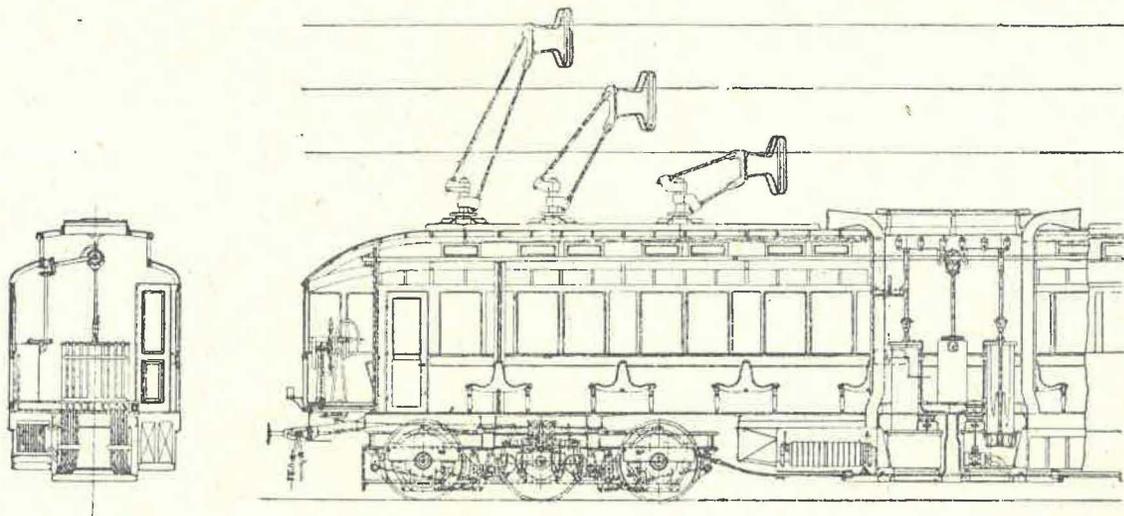


FIG. 27.

circuits et des transformateurs est protégé par des fusibles. Les conducteurs à basse tension vont des transformateurs aux moteurs par l'intermédiaire d'un commutateur. Par suite du jeu admis entre le bogie et la voiture, jeu provenant de l'oscillation latérale quand on passe en courbe et de l'oscillation verticale due à l'action des ressorts, les câbles doivent être suspendus à l'aide de supports flexibles, ce qu'on obtient à l'aide d'une courroie. Les câbles allant des moteurs d'arrière au démarreur sont assurés de la même manière.

Le commutateur préindiqué est employé pour établir ou supprimer le courant allant aux moteurs et venant des transformateurs; il permet aussi d'obtenir le roulement dans un sens ou dans l'autre, ou de couper le courant pour faire fonctionner le frein. En outre, la batterie d'accumulateurs est reliée de ce point au circuit des stators des moteurs quand on freine la voiture comme un automobile, c'est-à-dire, d'une façon indépendante des conducteurs aériens.

#### VI. — Conduite de la voiture.

Le conducteur de la voiture n'a qu'à agir sur un simple volant à main pour effectuer toutes les manœuvres; au moyen d'un indicateur, il peut en tout temps déterminer la position de l'appareil de réglage et, par un ampèremètre, il détermine la charge des moteurs; un autre appareil indique continuellement la vitesse de la voiture.

Par le volant à main, le conducteur manœuvre une tige s'étendant sur toute la longueur de la voiture. Le commutateur est commandé par cette tige au moyen d'une paire de roues d'angles et de cames. Le mouvement de cet équipage de cames commande la marche en avant, celle en arrière et le frein; dans les positions intermédiaires on agit sur la valve du rhéostat liquide dont il a été précédemment question.

À gauche du conducteur est la poignée de manœuvre du frein à air comprimé et, à sa droite, il y a un volant à main pour agir sur le même appareil. On se propose de faire usage de plusieurs espèces d'appareils de mesures pour les voyages d'essais, spécialement dans le but d'indiquer l'accélération de la vitesse, de mesurer la résistance de l'air rencontré quand le vent souffle en tête ou en travers et d'enregistrer la consommation du courant.

## VII. — Essais sur la plateforme.

Par suite de la nouveauté du système et pour ainsi dire de chacune des parties de l'équipement électrique et aussi de la grande responsabilité du constructeur, on a jugé prudent d'effectuer d'abord des essais avec la voiture au repos, sur une plateforme aménagée à cette fin. On amène la voiture au-dessus d'un châssis portant des galets de grand diamètre sur lesquels les roues reposent et peuvent tourner à différentes vitesses; les moteurs de chaque bogie sont expérimentés séparément.

L'auteur du mémoire déclare que les expériences pratiques effectuées sur la plateforme d'essai, ont été pleinement favorables.

La question de savoir, ajoute-t-il, si l'on atteindra pleinement la vitesse qu'on vise ne dépend pas seulement de la voiture mais également de la voie. Un bon laps de temps est encore nécessaire pour acquérir une expérience suffisante sous ce rapport, ainsi qu'en ce qui concerne la consommation de puissance sous des conditions variables de travail, ce qui conduit à la solution d'un second problème.

Depuis la publication de ce mémoire, des essais ont été entrepris à des allures variées sur la ligne de Berlin-Zossen; elles vont être incessamment poussées aux vitesses les plus grandes que l'on jugera compatibles avec la sécurité. La ligne d'essai à une longueur de 23 kilomètres; elle ne présente que des courbes de grands rayons, entre 2,000 et 6,500 mètres, sur de courts développements et des inclinaisons de 5 millimètres par mètre, au maximum.

La voie n'a pas subi de modifications en vue de la première série d'essais, si ce n'est dans le nombre de traverses qui ont été un peu plus rapprochées que primitivement.

L'auteur du mémoire a bien voulu nous communiquer récemment les renseignements complémentaires ci-après :

« Depuis le rapport que j'ai présenté à Glasgow, les essais ont été continués jusqu'au mois de décembre. La plus grande vitesse atteinte a été de 160 kilomètres à l'heure, cette vitesse ne pouvant être dépassée à cause de l'insuffisance de la voie qui avait été établie une dizaine d'années auparavant pour un chemin de fer secondaire. Les essais ont dû être interrompus pour cette raison jusqu'à ce que la voie fût renforcée. Ces travaux seront probablement exécutés dans le courant de l'été.

» Les expériences, faites sur la résistance de l'air, sur la force nécessaire pour la traction à différentes vitesses, et les diagrammes obtenus sur le freinage par l'air comprimé ou par sabots, n'ont donné que des résultats provisoires, les hautes vitesses pour lesquelles ces essais avaient été prévus n'ayant pas été atteintes.

» Les moteurs, l'appareillage et surtout les rhéostats de démarrage et de réglage de vitesse ainsi que les appareils de prise de courant ont fonctionné à notre pleine satisfaction.

» Il n'est toutefois pas possible d'émettre à ce sujet une opinion définitive tant que les essais n'auront pas été faits sur voie renforcée.»

M. Lasche termine par ce passage qui est pour nous d'un intérêt tout spécial :

« Nous avons aussi construit le rhéostat de démarrage pour applications électrominières et sommes très satisfaits des résultats obtenus. Nous comptons avoir installé d'ici à l'automne prochain, quelques milliers de chevaux pour l'extraction dans les mines, tant en Belgique qu'en Allemagne. »

#### VOITURE SIEMENS ET HALSKE.

Nous croyons utile, avant de faire connaître la discussion soulevée au Congrès de Glasgow, de donner une description sommaire de la voiture étudiée par la Maison Siemens et Halske, de Berlin, pour résoudre le même problème que l'A. E. G., également pour le compte de l'Association allemande précitée, et en expérimentant sur la même ligne de Berlin-Zossen.

La voiture S et H. pèse en tout 93 tonnes; dans ce poids l'équipement électrique entre pour 42 tonnes, comportant 16 tonnes pour les moteurs, 12 pour les transformateurs principaux et 14 pour le reste.

Les moteurs sont en nombre égal à celui de la précédente voiture. Ils sont à attaque directe, c'est-à-dire qu'ils sont montés, le rotor calé sur l'essieu, au lieu d'être flottant, comme dans la voiture de l'A. E. G. Le stator allège le centre de l'essieu en allant prendre appui, au moyen de traverses, sur les boîtes à graisse extérieures des fusées. La puissance des moteurs est établie comme dans le cas précédent; le diamètre des roues est également de 1<sup>m</sup>25.

La tension du courant primaire de 10,000 volts est ramenée à un taux variant entre 1,850 et 1,150 volts, le premier pour le démarrage et le second en marche normale. Le courant inducteur pénètre dans le rotor par trois bagues, séparées par de grands disques de

mica. On règle alors, à l'aide de rhéostats, les résistances à intercaler dans le circuit induit du stator, circuit dont les enroulements sont étudiés pour être le siège d'une tension de 650 volts au démarrage.

Les rhéostats en question présentent une particularité à signaler. Tout en agissant sur les trois phases, ils n'y introduisent pas simultanément le même taux de résistance électrique dans les circuits des quatre moteurs, mais successivement dans chacun d'eux.

Ces rhéostats sont placés extérieurement le long des parois verticales de la caisse, ce qui facilite leur aérage.

Les capteurs de courant sont aussi des archets; ils sont également doubles.

Contrairement à ce qui se passe dans le premier type, au lieu d'être respectivement reliés à la voiture par des jeux de tringles placés l'un derrière l'autre, les archets sont attachés à un mât vertical qui, émergeant au-dessus du toit, va prendre pied sur le plancher de la voiture. Près du toit, se trouve un triple interrupteur extérieur à la caisse et enfilé sur un manchon isolant.

Le mât peut recevoir, de l'intérieur de la cabine, un mouvement de rotation entraînant tout l'équipage d'archets et supports, soit pour les écarter des conducteurs aériens, soit au moment du changement du sens de la marche. Ces mâts sont placés à l'avant et à l'arrière de la voiture et non plus au centre des bogies.

Toutes les manœuvres se font par l'intermédiaire de l'air comprimé. Celui-ci est également nécessaire pour le freinage. Il est produit par des moteurs alimentés par un courant réduit de 10,000 volts à 110 volts à l'aide d'un transformateur pesant 650 kilog. Pour desservir les quatre jeux de rhéostats correspondant aux quatre moteurs, des chaînes courant le long des caisses, vont, dans les cabines, passer autour de poulies manœuvrées par des pignons et engrenages mûs par l'air comprimé.

Avant d'aborder l'étude de moteurs destinés aux essais sur la ligne expérimentale, la maison Siemens et Halske a procédé à diverses recherches relatives à la résistance de l'air.

On a commencé par faire la part de la résistance au roulement qui fut admise être de 4 k. 5 par tonne pour une automotrice roulant à 200 kilomètres à l'heure au lieu de 2 k. 5 que l'on prend ordinairement.

On détermina, par expériences à poste fixe, à l'aide de deux grands panneaux plans de 10 m<sup>2</sup>, la portion des résistances dues à l'air. On incurva ensuite la surface de chacun d'eux en forme parabolique.

Ces expériences confirmèrent la notion généralement admise que *l'influence de la forme de la voiture est beaucoup plus importante à grande qu'à moyenne vitesse*. Finalement l'on s'est arrêté; pour la résistance de l'air, à 90  $\frac{k}{mq}$ , soit 900 k. pour la voiture en question à la vitesse de 200 kilomètres.

Le calcul de la puissance est le suivant :

$$\frac{900^k + 93^T \times 4^k 5}{75^{kgm}} \times \frac{200,000^m}{3600} = 976 \text{ chevaux,}$$

soit 1000 chevaux en chiffres ronds, à répartir sur quatre moteurs. Ceux-ci doivent être aptes à donner 3000 chevaux pendant la période d'accélération.

#### DISCUSSION AU CONGRÈS

Après un échange de congratulations et un hommage rendu à S. M. l'Empereur d'Allemagne, pour sa haute protection dans les recherches entreprises par les deux grandes maisons de Berlin précitées, quelques observations techniques ont été présentées. Sir WILLIAM PREECE s'est déclaré hautement partisan du courant triphasé pour l'alimentation des moteurs destinés à l'électrotraction sur les grands chemins de fer. Ce système supprime toute machinerie rotative dans les sous-stations; il supprime beaucoup de parties qui donnent du poids à la machinerie et comme résultat l'on trouve que, si l'on prend toute l'installation d'un chemin de fer, le système triphasé fournit une économie de 30 %, et même plus. Ensuite, il est possible d'employer des tensions élevées; avec 3000 volts le poids du cuivre n'est que de 1,6 de ce qu'il serait en courant continu et de plus, le coût de construction des sous-stations n'est seulement que d'un quart; de sorte qu'en comparant les deux systèmes, on arrive à trouver que l'emploi du courant triphasé procure une économie d'au moins 40 % du capital nécessaire pour le premier établissement.

Le professeur S. P. THOMPSON a examiné quelques points de détail. Selon lui le commutateur des dynamos est un appareil préhistorique. Tout moteur qui réclame un commutateur ne peut être utilisé sur une ligne à grande vitesse et c'est là que réside une infériorité de la machine à courant continu par rapport à celle à courant alternatif.

Un second point à mettre en lumière c'est l'avantage résultant de l'introduction de résistances variant continuellement dans le circuit

par l'emploi des rhéostats liquides au lieu de résistances métalliques. Il y a une dizaine d'années, on considérait le rhéostat liquide comme un instrument de laboratoire seulement, tandis qu'actuellement il est d'une application pratique inappréciable.

De plus, il y a dans le mémoire de M. Lasche, des détails relatifs aux trucks, aux coussinets, aux moyens de renverser la direction et de changer de phase de manière à produire une action freinante qui mériteraient une discussion au point de vue technique, mais qui ne peuvent être examinés, faute de temps.

D'accord avec Sir William Preece, M. SIEMENS est d'avis qu'il y a lieu d'écarter la question des détails pour discuter la question générale, en attendant les résultats des essais qui doivent être effectués sur la ligne précitée en même temps qu'avec la voiture de la maison S. et H.

Il a rappelé que le professeur Thompson a condamné le moteur à courant continu. Celui-ci, comme il a été arrêté au Congrès de Paris de 1900, trouve sa place quand il y a de fréquentes et grandes variations de vitesse et, dans le cas d'un long parcours à la même vitesse, il convient de faire usage du courant triphasé.

Il n'est pas tout-à-fait d'accord avec l'auteur du mémoire, quand celui-ci déclare que la question économique ne doit pas être la principale considération. Si la lumière électrique n'est pas intrinsèquement à meilleur compte que la lumière du gaz, elle a des avantages indirects, autrement elle n'aurait pas été généralisée. C'est ici la même chose. On introduira les voitures à grande vitesse sur les lignes principales de chemins de fer si elles sont plus économiques et pas autrement et là est précisément le grand problème à résoudre.

M. Siemens pense encore autrement que l'auteur, quand celui-ci estime que l'on peut rouler sur les chemins de fer existants, avec les voitures à grande vitesse. Il ne peut admettre que l'on puisse encore augmenter de 50 % la vitesse de 80 milles à l'heure (130 kilom.), qu'atteignent quelquefois les trains sur les lignes de Londres à Glasgow; il y aurait alors du danger.

Le professeur ZIPERNOWSKY, de Budapesth, a signalé que l'étude de l'A. E. G. est la plus importante qui ait été faite depuis l'Exposition de Francfort, en 1891.

M. E. KOLBEN, de Prague, a examiné la question soulevée par M. A. Siemens, relativement au désavantage des moteurs triphasés ne tournant pas à vitesse constante. On a vu, par les explications de M. Lasche, qu'il a fait un usage exclusif de résistances pour régler la

vitesse des moteurs triphasés et sous ce rapport il semblerait que ces derniers soient inférieurs aux moteurs à courant continu, dont le réglage se fait comme ci-après : Si deux ou quatre moteurs sont montés dans la voiture, ils travaillent soit en série, soit en parallèle, de manière que la vitesse peut être réduite à la moitié ou au quart sans aucune perte dans les résistances. M. Kolben ne pense pas qu'on conserve le mode actuel de réglage de la vitesse du moteur triphasé au moyen de résistances seulement, mais de ses expériences concernant les grues et les machines d'extraction, il déduit que l'on peut réduire la vitesse de moitié et même, sans grande complication, des trois quarts, sans aucune perte dans les résistances, en changeant simplement le nombre de pôles, ce que l'on peut obtenir en changeant les connexions des enroulements du moteur. Il déclare que c'est dans cette direction que des expériences devront être faites, de manière à assurer le succès de moteurs comportant ensemble 3,000 chevaux de puissance.

M. GIBBERT KAPP, de Berlin, a fait connaître qu'il a eu l'occasion de voyager sur une voie très mal assise des environs de Berlin, avec la voiture S. et H. et qu'il a constaté le parfait fonctionnement malgré la tension de 10,000 volts. La cabine du wattmann est située au milieu de la locomotive, et consiste en une boîte en fer avec des fenêtres munies de glaces de tous côtés. Tout le jeu de fer et les poignées sont mis à la terre et on peut toucher tout sans éprouver aucune secousse.

On a fait une objection au moteur triphasé de ce que l'on ne pouvait varier la vitesse sans consommation d'énergie dans les résistances; cet inconvénient se retrouve dans les moteurs à courant continu, mais dans un cas comme dans l'autre, cette perte n'a aucune importance pratique. Si l'on établit un chemin de fer à grande vitesse, le conducteur ne roulera pas lentement; il ira à la plus grande vitesse possible et ce n'est qu'exceptionnellement qu'il devra ralentir en intercalant des résistances. Il est vrai que le dispositif de M. Lasche, consistant en un rhéostat liquide, peut être utilisé pendant un certain temps, ce qui est d'ailleurs un grand avantage spécialement pour les chemins de fer de montagnes. En conséquence, l'objection présentée n'a pas d'importance technique.

Le professeur C. CARUS-WILSON a fait remarquer que la plus grande difficulté d'appliquer la grande vitesse sur les chemins de fer existants est la question des courbes. M. Lasche ne l'a pas examinée parce que la ligne d'expérience était sensiblement droite. Il faudra

donc construire des lignes spéciales, pratiquement sans courbes.

Le 20 novembre dernier, M. LASCHE a répondu quelques mots aux observations présentées au Congrès.

Il n'a pas prétendu, déclare-t-il, qu'un service intense serait possible à une vitesse de 200 kilomètres à l'heure sur les lignes actuelles, mais il voulait établir qu'avec les voitures électriques isolées, la voie et les ponts seraient soumis à des efforts moindres qu'avec des trains et des locomotives, et que, pour cette raison, sans renforcer les lignes existantes, on pourrait atteindre une vitesse considérablement plus élevée avec des voitures électriques qu'avec des locomotives à vapeur et l'on pourrait conséquemment maintenir un service de voitures plus actif. Il conteste que la ligne expérimentale soit dépourvue de courbes, tout en reconnaissant que le plus petit rayon est de 2000 mètres.

---

*Les avantages relatifs des systèmes tri, bi et monophasés  
pour l'alimentation des réseaux à basse tension.*

---

M. M.-B. FIELD, auteur de cette communication, déclare d'abord qu'il ne parvient pas à comprendre les objections des partisans du système monophasé contre le triphasé. Dans le cas d'une grande installation de tramway, il pense que l'un quelconque des trois systèmes donnerait d'excellents résultats, mais le système triphasé, sans être plus compliqué (excepté peut-être en théorie) que le monophasé, possède certains avantages marqués au point de vue de la dépense de premier établissement, et, par dessus tout, l'efficacité et la stabilité du fonctionnement, qui justifieraient son adoption générale pour des installations aussi développées que celles que l'on rencontre actuellement, à Glasgow, par exemple.

L'auteur considère ensuite la transmission de la puissance, à partir d'une seule station centrale, à de nombreux points d'alimentation suffisamment éloignés pour rendre essentielle l'adoption des courants alternatifs à haute tension pour la transmission, et suppose de plus que l'on ne soit pas restreint quant au choix de la fréquence.

Il n'examine pas la possibilité d'alimenter les tramways avec des moteurs à courants alternatifs, ce qui lui paraît d'ailleurs impraticable actuellement, à cause de la complication dans les conducteurs aériens qui en résulterait.

On n'a ainsi d'autre ressource que d'établir des sous-stations et d'y établir des convertisseurs convenables pour transformer le courant alternatif à haute tension en courant continu à 500 volts.

*Machinerie de génération et de transformation.* — Les moyens de conversion sont : 1° les convertisseurs rotatifs combinés avec les transformateurs statiques; 2° les générateurs moteurs synchrones sans transformateurs; 3° les générateurs moteurs asynchrones sans transformateurs.

Les puissances relatives pour la même perte  $C^2.R$  d'un convertisseur rotatif, s'il est employé comme générateur à courant continu, ou comme convertisseur respectivement monophasé, triphasé, tétra ou hexaphasé sont les suivantes :

GÉNÉRATEUR à courant continu	ROTATIVE monophasée.	ROTATIVE triphasee.	ROTATIVE tétraphasée.	ROTATIVE hexaphasée.
1.00	0 825	1.31	1.61	1.94

Les connexions tétraphasées seront employées avec le système de transmission biphasé ordinaire, les connexions triphasées ou hexaphasées, avec le système triphasé, ou, quand c'est possible, par un arrangement convenable de transformateurs, avec le système biphasé. Le tableau ci-dessus n'est basé que sur le calcul, mais l'auteur ne doute pas que les résultats ne soient vérifiés par l'expérience.

Le tableau I a été extrait d'un mémoire de M. Eborall, la dernière colonne, relative aux rotatives de Glasgow de 500 k. w., ayant été ajoutée.

TABLEAU I

TYPE D'ÉQUIPEMENT.	Générateur- moteur asynchrone.	Générateur- moteur synchrone	Convertisseurs rotatifs et transformateurs	Rotative de Glasgow.	
Puissance du convertisseur de la sous-station . . . . .	500 kw.	500 kw.	500 kw	500 kw	
Vitesse du convertisseur . . . .	300	300	300	500	
Nombre de poles (générateur) . .	10	10	16	6	
Vitesse périphérique du commu- tateur. . . . .	1,880	1,880	3,100	3,250	
Nombre de barres commutatrices	270	270	560	324	
Élévation de température après 24 heures à pleine charge. . .	35° C.	35° C.	35° C.	30° après 12 heures (garantie)	
Effet utile {	pleine charge . . . . .	86 %	87 %	92 %	92.5 %
	demi-charge . . . . .	80 %	79 %	87.5 %	89.5 % (garantie)
Capacité de surcharge pendant une heure, avec balais fixes . .	25 %	25 %	75 %	50 % (garantie) Élévation de T = 60° C.	
Facteur de puissance {	pleine charge . . . . .	91 %	100-96 %	100-96 %	—
	demi-charge . . . . .	88 %	»	»	»
Espace nécessaire par kilowatt (en pied carré) . . . . .	0.5	0.5	0.45	0.34	

Le tableau II donne le coût, en même temps que la comparaison de l'efficacité et du poids des machines rotatives tri et biphasées et des générateurs moteurs tri, bi et monophasés synchrones et asynchrones pour 25 périodes et 500 kilowatts (c'est le modèle des unités des sous-stations de Glasgow).

La machine monophasée travaille avec un tel désavantage comparativement aux machines bi et triphasées que l'auteur n'a pas cru utile de la mentionner dans ce tableau.

TABLEAU II

TYPE DE CONVERTISSEUR DE Sous-Station.	COUT y compris tout l'appareil de démarrage.	POIDS TOTAL	Effet utile de l'équi- pement :		
			Pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
	Liv. st.	Ton.			
Rotative triphasée avec transformateurs . . .	A . . . 2,160	33	91	89.75	86.75
	B . . . 2,560	31	92	90.5	88
	C . . . 2,240	38	93.6	92.6	88.4
	D . . . 2,122	40	—	—	—
Rotative biphasée avec transformateurs . . .	A . . . 2,240	34	91	89.75	86.75
	B . . . 2,580	32	92	90.5	88
	C . . . 2,114	—	—	—	—
Générateur-moteur synchrone triphasé.	A . . . 2,400	42	89.5	88.25	85.25
	B . . . 2,280	44	86.5	85	81.5
	C . . . 2,320	42	90.0	87	80
Générateur-moteur synchrone biphasé.	A . . . 2,400	42	89.5	88.25	85.25
	B . . . 2,280	44	86.5	85	81.5
	C . . . 2,320	42	90	87	80
Générateur-moteur synchrone monophasé.	A . . . 2,500	44	88.5	87.25	84.25
	B . . . 2,440	48	85	83	79.
	C . . . 3,100	38	—	—	—
Générateur-moteur d'induction triphasé.	A . . . 2,680	50	89	87.75	84.75
	B . . . 2,260	44	85.5	84.5	81.5
	C . . . 2,360	43	89	86	80
Générateur-moteur d'induction biphasé.	A . . . 2,680	50	89	87.75	84.75
	B . . . 2,300	45	85	84	81
Générateur-moteur d'induction monophasé	A . . . 3,200	64	85	83.75	81
	B . . . 2,580	52	80	77	72

N. B. — Tout ce qui précède se rapporte à des équipements de convertisseurs de 500 kw., à de 500 à 550 volts du côté du courant continu, à 6,500 volts du côté du courant alternatif. A, B, C, D, se rapportent à différents constructeurs.

De ces renseignements, il résulte que le convertisseur rotatif est en soi supérieur à tous les autres; il réclame toutefois un plus grand nombre de commutateurs monopolaires à basse tension au tableau de distribution.

Au point de vue de la complication, il n'y a pas de différence entre une rotative avec son transformateur et un générateur-moteur sans

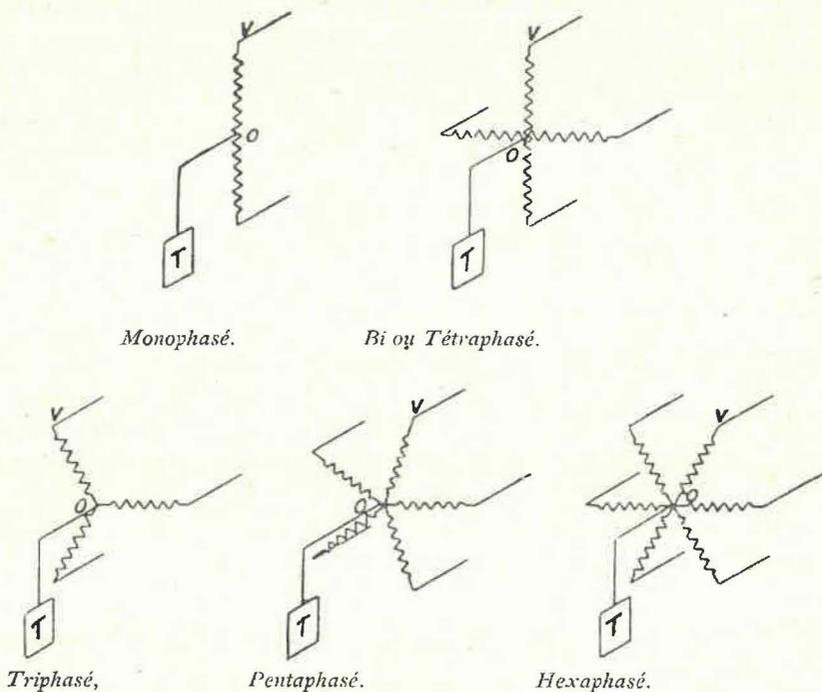


FIG. 28.

cet appareil. En ce qui concerne le fonctionnement et le démarrage, les rotatives bien étudiées à basse fréquence ne présentent aucune difficulté. Enfin, par rapport à la capacité de surcharge, à la facilité de réglage et de manœuvre, le convertisseur rotatif offre tout ce que l'on peut désirer.

*Câbles.* — Il est intéressant de noter que, théoriquement, le système triphasé devrait donner les meilleurs résultats, par rapport à la puissance qui peut être transmise avec un poids donné de cuivre et avec un minimum d'action sur l'isolement du système.

La figure 28 représente les systèmes renfermant les principes mono,

bi ou tétra, tri, penta ou hexaphasé, le point neutre dans chaque cas étant mis à la terre. Soit  $V$  le voltage et  $C$  le courant par fil dans chaque système (dans le monophasé, le voltage de la ligne =  $2V$ ), alors la puissance transmise dans les différents cas sera représentée par  $nVC \cos \varphi$ , dans lequel  $n$  = nombre de conducteurs et  $\varphi$  l'angle de décalage. La puissance transmise par unité de poids de cuivre sera la même dans chaque cas et par analogie le potentiel maximum par rapport à la terre; mais la différence maxima du potentiel existant entre deux points quelconques dans le système (c'est-à-dire entre les âmes d'un câble de ligne) est un minimum dans le cas du triphasé. De plus, si le point neutre n'est pas à la terre, on doit considérer comme l'action maxima sur l'isolement, le voltage par rapport à la terre de tout fil de ligne ou pôle, si l'un quelconque est mis accidentellement à la terre pendant un instant; cette action est encore évidemment un minimum dans le cas du triphasé.

Si l'on considère le cas de Glasgow, on a quatre câbles et trois âmes à chacune des cinq sous-stations; la section de ces câbles est de 0.1 ou 0.15 pouce carré par âme, selon le cas. Chacun de ces câbles peut être rendu indépendant des autres. Si l'on avait employé la transmission monophasée, on aurait obtenu un arrangement équivalent en prenant :

1° Un câble concentrique par circuit, ou quatre câbles par sous-station;

2° Deux câbles à âme simple, indépendants par circuit, ou huit câbles par sous-station;

3° Un câble à âme double par circuit, ou quatre câbles par sous-station.

Dans le cas d'une transmission biphasée, on pouvait adopter un arrangement correspondant avec :

1° Deux câbles concentriques par circuit;

2° Quatre câbles à âme simple par circuit;

3° Deux câbles à âme double par circuit;

4° Un câble à quatre âmes par circuit.

En comparant les divers systèmes, on peut conserver le même potentiel maximum par rapport à la terre dans chaque cas, en d'autres termes garder la même action sur l'isolement des générateurs, etc., ou bien on peut garder la même différence de potentiel entre les conducteurs de la ligne, c'est-à-dire, la même action sur l'isolement des câbles dans chaque cas. Il ne s'ensuit pas que ces deux conditions soient réalisées en même temps:

TABLEAU III

1000 Kw. TRANSMIS SUR UN MILLE	Volts entre les fils de ligne ou les âmes	Volts par fil du système
1. Triphasé, âme triple; point neutre du système mis à la terre . . . . .	6,500	3,750
2. Monophasé concentrique; conducteur mis à la terre . . . . .	3,750	—
3. Monophasé concentrique; conducteur mis à la terre . . . . .	6,500	—
4. Monophasé, âme double; neutre mis à la terre . . . . .	6,500	3,250
5. Idem. . . . . idem. . . . .	7,500	3,750
6. Monophasé, deux câbles séparés, l'extérieur du neutre mis à la terre . . . . .	7,500	3,750
7. Biphasé, deux câbles à âme double, le neutre mis à la terre . . . . .	6,500	3,250
8. Idem. . . . . idem. . . . .	7,500	3,750
9. Biphasé, 2 câbles à âme double, neutre mis à la terre . . . . .	6,500	3,250
10. Idem. . . . . idem. . . . .	7,500	3,750
11. Triphasé, âme triple; non mis à la terre . . . . .	6,500	3,750
12. Monophasé, âme double; non mis à la terre. . . . .	6,500	3,250
13. Monophasé, deux câbles séparés; non mis à la terre . . . . .	6,500	3,250
14. Biphasé, âme quadruple . . . . .	6,500	3,250
15. Biphasé, deux câbles à âme double . . . . .	6,500	3,250

Les prix ci-dessus se rapportent à des câbles isolés au papier, couverts de plomb, tirés  
 Dans chaque cas, la même puissance est transmise et la perte par mille en kilowatts

Courant par fil de ligne	Section par fil de ligne en pouce carré	Section totale en pouce carré	Volts par rapport à la terre, de tout fil de ligne, c'est-à-dire l'effort électrique sur les générateurs, etc	Volts entre deux âmes, c'est-à-dire, l'effort sur l'isolement du câble	Coût par mille posé assemblé, y compris les conduites et le tirage des câbles	
					A	B
					Liv. St.	Liv. St.
89	0.15	0.45	3,750	6,500	956	1,072
267	0.9	1.8	3,750	3,750	2,244	2,154
154	0.3	0.6	6,500	6,500	1,150	1,499
154	0.3	0.6	3,250	6,500	1,090	1,175
133	0.225	0.45	3,750	7.500	968	1,067
133	0.225	0.45	3,750	Effort sur l'isolement 3,750	1,128	1,280
77	0.15	0.6	3,250	6,500	1,138	1,256
66.5	0.1125	0.45	3,750	7,500	948	1,182
77	0.15	0.6	3,250	6,500	1,540	1,482
66.5	0.1125	0.45	3,750	7,500	1,352	1,374
89	0.15	0.45	6,500	6,500	1,144	1,168
154	0.3	0.6	6,500	6,500	1,204	1,284
154	0.3	0.6	6,500	6,500	1,420	1,456
77	0.15	0.6	6,500	6,500	1,240	1,388
77	0.15	0.6	6,500	6,500	1,692	1,590

dans des conduites en fer, couvertes de ciment.  
= 6.3.

Le tableau III donne la comparaison de ces divers systèmes de câbles ; la base admise est d'un mille (1 kilom. 609) de câble à âme triple avec le neutre mis à la terre, transmettant 1,000 kilowatts à 6,500 volts (triphase), la section de chaque âme étant 0.15 pouce carré ; dans tous les cas, le voltage efficace est rapporté et non l'ordonnée maxima de la courbe ondulatoire du voltage.

Dans ce cas, on verra que l'effort, sur l'isolement des générateurs, des transformateurs, etc., est de 3,750 volts, et, sur l'isolement des câbles, de 6,500 volts.

Les cas 2 et 3 représentent une transmission monophasée avec câbles concentriques. Dans ces circonstances, il sera essentiel de travailler avec un conducteur extérieur mis à la terre pour assurer la stabilité de fonctionnement. Avec 3,750 volts entre l'intérieur et l'extérieur, on aura le même effort sur l'isolement des générateurs, mais un plus petit effort sur celui des câbles. Avec une tension de travail de 6,500 volts, l'effort sur les générateurs sera plus grand et, sur les câbles, il sera le même que dans le cas 1. La quantité de cuivre dans la ligne sera quatre fois et 1.33 fois respectivement celle du cas 1, pour la même perte de transmission.

Les cas 4 et 5 représentent une transmission monophasée avec des câbles à deux âmes, le point neutre étant à la terre. Dans le cas 4, avec 1.33 fois la quantité de cuivre, on a le même effort sur les câbles mais un plus petit effort sur les générateurs ; avec la même quantité de cuivre, dans la ligne (cas 5), on a le même effort sur les générateurs, mais un plus grand dans les câbles.

Le cas 6 représente une transmission monophasée avec deux câbles séparés et un neutre à la terre. Dans cet exemple, le voltage de travail serait de 7,500, quand l'effort sur les générateurs et les câbles sera de 3,750, le poids du cuivre étant le même que dans le cas 1. L'inconvénient est qu'il faut deux fois le nombre de câbles actuels et la self-induction de la ligne est essentiellement augmentée.

Les cas 7 et 8 représentent les transmissions biphasées avec des câbles à quatre âmes et les points neutres mis à la terre. Ils correspondent exactement au monophasé des cas 4 et 5 et aux cas 9 et 10, où l'on fait emploi de deux câbles à deux âmes par circuit.

Le cas 11 représente le triphasé à trois âmes où le neutre n'est pas à la terre ; conséquemment, dans ce cas, le maximum d'effort possible sur les générateurs et les câbles est de 6,500 volts. On peut ainsi comparer les systèmes avec âme double et quadruple et des câbles séparés. Dans cet exemple, l'effort sur le générateur et les câbles,

comme dans le cas 10, sera de 6,500 volts, mais le poids de cuivre sera augmenté de 33 %.

Cette discussion sur la question des câbles est un peu longue, mais l'auteur pense qu'elle renferme tous les cas possibles et qu'elle donne une bonne base de comparaison. La dernière colonne du tableau indiquant les dépenses s'applique aux câbles recouverts de plomb et isolés au papier et comprend le coût de la conduite placée sur le système adopté à Glasgow; le tableau montre clairement que l'avantage réside certainement dans le système triphasé. La forme de l'onde de la F. E. M. a été supposée la même dans le cas des courants tri, bi ou monophasés.

L'auteur ajoute qu'il préfère un système non mis à la terre, sauf dans le cas d'emploi de câbles concentriques où le conducteur extérieur est à la terre; il estime que le câble à âme triple est le plus commode et le meilleur.

Les considérations précédentes pourraient être modifiées complètement par les exigences du *Board of Trade*, par exemple, si l'on prescrivait la protection des câbles par une armature extérieure autre que celle en plomb ou la limitation de la puissance à transmettre par un simple câble. Par exemple, les systèmes bi et monophasés réclament le même poids de cuivre, aussi longtemps que chaque phase est alimentée par un câble à âme double et que les systèmes ne sont pas mis à la terre; le système biphasé avec un câble à trois conducteurs est beaucoup plus coûteux quant au cuivre que le monophasé, mais si l'on doit avoir une enveloppe mise à la terre et que l'on utilise celle-ci comme conducteur, le biphasé avec deux câbles concentriques exige moins de cuivre que le monophasé avec un câble concentrique, puisque dans le premier cas, les deux extérieurs étant connectés avec la terre, forment une conduite commune et par suite leur section transversale peut être réduite.

Tout cela ressort de l'inspection du tableau IV. Il faut noter que le système triphasé avec le neutre à la terre est beaucoup meilleur que le biphasé avec deux concentriques. Dans le premier cas, la section de cuivre est de 0.45, et l'effort sur les générateurs est de 3,750 volts; dans le dernier, la section de cuivre est de 0.437, l'effort sur les générateurs est de 6,500 volts, ou bien il faut deux fois autant de câbles que dans le triphasé.

TABLEAU IV

TYPE	Voits par phase	Courant	Section en pouce carré	Perte totale par mille	Effort maximum possible sur l'isolement du système
				kw.	volts
Monophasé, âme double, ou deux câbles séparés; système non mis à la terre . . .	6,500	154	$0.3+0.3=0.6$	6.3	6.500
Biphasé, conducteur triple, avec ou sans conducteur commun mis à la terre . . .	4,600	109 109 154	$0.256+0.256$ $+0.362=0.874$	6.3	6.500
Monophasé, concentrique, extérieur mis à la terre . . .	6,500	154	$0.3+0.3=0.6$	6.3	6.500
Biphasé, les deux extérieurs des concentriques mis à la terre . . . . .	6,500	77 77 109	$0.128+0.128$ $+0.181=0.430$	6.3	6.500

*Tableaux de distribution.* — On constatera ici une simplification par l'emploi du circuit monophasé. Le seul fait, toutefois, d'exiger trois fils par commutateur au lieu de deux, et éventuellement, ce qui n'est pas nécessaire, trois ampèremètres par circuit au lieu d'un, ne devrait pas avoir beaucoup de poids dans la détermination du choix d'un système.

*Généralités.* — L'auteur a obtenu de différents constructeurs, pour la rédaction de sa notice, des prix de génératrices tri et monophasées correspondant en type et en puissance aux unités de 2500 kw. de Glasgow.

Les renseignements fournis à chaque constructeur étaient les suivants :

Puissance : 2,500 kw. ;

Voltage : 6,500 ;

Effet utile à pleine charge : 96 % ;

» à trois quarts de charge : 95 % ;

» à demi charge : 93 % ;

Vitesse : 75 révolutions ;

Périodes : 25 ;

Chute de pression entre la pleine charge et à vide, à vitesse et excitation constantes, et facteur de puissance de l'unité, ne devant pas dépasser 7 % ;

Fourniture de la génératrice sans palier, mais avec rhéostat, etc.

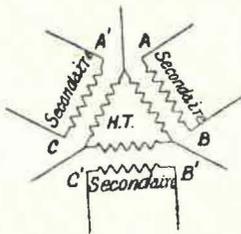
TABLEAU V

	GÉNÉRATRICES			
	TRIPHASÉES		MONOPHASÉES	
	Poids	Coût	Poids	Coût
	Tonnes	Liv. St.	Tonnes	Liv. St.
1	123	6,000	184	8,900
2	120	5,400	140	6,200
3	110	4,600	125	5,200
4	92	5,360	105	6,080

Dans le tableau V, l'auteur a essayé de réunir les renseignements obtenus des différents constructeurs, desquels il résulte que la génératrice triphasée est moins chère et plus légère que la monophasée.

M. Field fait toutefois remarquer que, si l'installation triphasée convient le mieux pour une grande installation de tramway, l'adoption ne lui en paraît pas recommandable quand la principale charge réside dans l'éclairage. Le moteur monophasé a, dans ces derniers temps, fait

de grands progrès et est maintenant une machine parfaitement pratique et très économique, et, vu les perfectionnements des génératrices monophasées et les méthodes qui permettent de les rendre automatiquement compound, on peut introduire dans les circuits d'éclairage un moteur à forte charge sans inconvénients. De même, on peut parfaitement bien, et dans un grand nombre de cas d'ailleurs la disposition est adoptée, introduire des lampes dans les circuits des moteurs triphasés, avec d'excellents résultats. Il est toutefois intéressant de noter que l'économie de cuivre dans le réseau à basse tension dans lequel on adopte le système triphasé est, contrairement à l'attente, pratiquement nulle.



H.T. = haute tension

FIG. 29.

trois conducteurs on aura 1.73 fois le courant, c'est-à-dire la même densité de courant qu'auparavant; en d'autres termes, tandis qu'on distribue la même somme de puissance, on réduit le poids de cuivre de 13 1/2 % et on diminue les pertes de la distribution d'une même quantité. Cette considération semble indiquer un grand

avantage dans la distribution triphasée; mais cela n'est pas en réalité, car on adopterait certainement un système à trois fils dans la distribution monophasée.

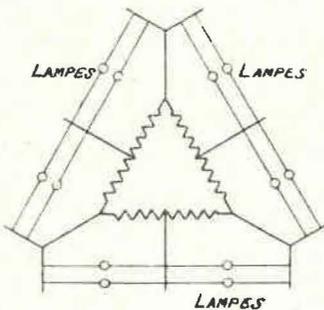


FIG. 30.

La disposition représentée fig. 30 pourrait, il est vrai, être comparée avec avantage, quant à l'économie de cuivre, avec le système monophasé à trois fils; c'est néanmoins une méthode impraticable par suite de la multiplicité des circuits et de

la difficulté du réglage. La seule méthode qui corresponde au système monophasé à trois fils et qui permet un réglage indépendant des divers

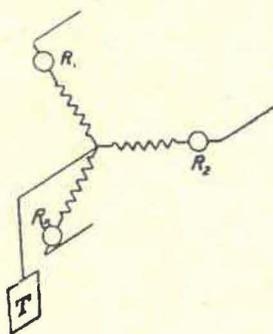


Fig. 31.

circuits est représentée dans la figure 31, où  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  sont des régulateurs série-shunt.

Pour autant que l'auteur a pu le déterminer, l'effet produit sur une phase par une variation de charge sur l'autre, ne diffère pas essentiellement dans les systèmes bi ou triphasé.

Un système triphasé a été adopté dernièrement avec grand succès en Amérique et en Suisse, où, pour éviter tout réglage dans les

sous-stations, le voltage d'une phase seule est maintenu constant dans la station génératrice et toutes les lampes à incandescence sont groupées sur cette phase; la constance de la tension sur cette phase I est obtenue en réglant le champ de la génératrice. Les phases II et III recevront les lampes à arc en série ou d'autres appareils dans lesquels un voltage constant n'est pas indispensable, et les moteurs seront groupés sur les trois phases. Dans ce cas, les lampes à incandescence peuvent être alimentées par un système à trois fils, le fil neutre étant relié au point milieu de la phase réglée, donnant ainsi une tension double de celle des lampes au voltage de travail entre les bornes du moteur. Quand on adopte un semblable système, on ne cherche pas à obtenir un équilibre des charges sur les trois phases, étant donné que toute génératrice triphasée bien étudiée peut être employé jusque 75 % de sa force normale comme génératrice monophasée, en employant deux fils de l'enroulement comme la monophasée; cela signifie que lorsqu'on emploie ce système, un courant supérieur de 30 % au courant normal qui a été estimé par phase, peut être pris de la phase chargée.

Il paraît néanmoins qu'en employant deux conducteurs, comme dans le monophasé, on détruit l'essence de l'économie de la transmission triphasée et il s'ensuit qu'une transmission biphasée avec des câbles à quatre âmes serait tout aussi avantageuse. Dans ce dernier cas, le réglage peut être effectué sur une seule phase ou deux phases peuvent être réglées indépendamment à la station génératrice. Il convient de remarquer que si deux moteurs bi et triphasés et des

transformateurs sont connectés à des circuits de charges non équilibrés, ils tendront à s'équilibrer. Par exemple, si de nombreux moteurs sont connectés à un circuit biphasé et sont alimentés par un générateur biphasé et si, pendant le fonctionnement d'un certain nombre de moteurs, le circuit d'une phase est ouvert à la génératrice, les moteurs quoique ne recevant, en réalité que du courant monophasé de la phase encore connectée à la génératrice, tourneront en réalité comme des biphasés, c'est-à-dire qu'ils seront *self-starting* et trouveront environ 0.8 de voltage normal à travers la phase coupée; en fait, les moteurs légèrement chargés engendreront et feront circuler, dans les moteurs plus lourdement chargés, les courants nécessaires à la phase mise hors circuit, de manière à les rendre aptes à travailler plutôt comme des moteurs biphasés que comme des moteurs monophasés.

#### DISCUSSION AU CONGRÈS

M. E. KOLBEN (Prague). — Les renseignements que M. Field donne dans son mémoire sont à son avis, parfaitement corrects, et montrent actuellement l'avantage du triphasé comparé au bi et au monophasé; il pense que le premier système se répandra d'une façon générale, non seulement pour la distribution de la puissance, mais également pour l'éclairage combiné avec l'alimentation des moteurs, comme c'est le cas dans les grandes villes. Un point très intéressant traité par M. Field est l'emploi des moteurs triphasés dans l'exploitation des chemins de fer. M. KOLBEN est d'accord avec M. Field, quand ce dernier dit qu'à présent le moteur triphasé n'est pas applicable dans l'exploitation des tramways, comme c'est le cas dans nos grandes villes; mais son champ d'application est le chemin de fer proprement dit. Dans ce cas, il signale la grande perte d'énergie provenant du réglage de la vitesse, par les moyens connus, que l'on rencontre dans les moteurs triphasés.

Il rappelle qu'au début du développement des tramways électriques en Amérique, avant qu'on eût adopté le mode actuel de réglage, il fallait que la puissance des stations génératrices fût de 20, 30 ou 40 % plus élevée que celle qui était nécessaire; c'est actuellement le cas pour le moteur triphasé.

D'autre part, si l'on considère une station génératrice en triphasé avec des sous-stations de conversion, le coût de la machinerie de la sous-station ne s'élèvera probablement pas à un tiers du coût supplé-

mentaire réclamé par l'augmentation de l'installation due au réglage du système de moteur triphasé, ceci complètement en dehors de la question d'économie.

Pour la distribution combinée de la lumière et de la puissance dans les grandes villes, le système triphasé est aussi le plus convenable, mais il est alors nécessaire d'adopter un plus grand nombre de périodes : 42 à 50.

Par exemple, à Prague, il existe une grande station de triphasé dans laquelle on a adopté le nombre de 50 périodes comme étant le plus apte à fournir, non seulement la puissance pour les tramways, mais encore tout l'éclairage public et privé, d'une seule station pour toute l'énergie consommée dans une ville. On ne peut imaginer rien de plus simple. Les unités génératrices sont de 1,000 à 3,000 chevaux et, par un seul jeu de conducteurs, on distribue la puissance aux différentes sous-stations et on alimente aussi les réseaux à basse tension pour les lampes et les moteurs.

Se référant à un tableau fourni par l'auteur du mémoire, M. KOLBEN signale que la différence de pression est peu importante si une ou deux phases d'une grande génératrice ou d'un groupe de transformateurs de grandes dimensions est chargée plus que les autres phases, même jusque 30 % de différence de charge non inductive; il n'est alors nécessaire de faire usage d'aucun dispositif spécial de réglage.

Le professeur H.-S. CARHART (Michigan) signale que, en Amérique, le système triphasé de distribution est le plus généralement répandu; le biphasé est très peu employé. Quant à la fréquence, pour la puissance et l'éclairage combinés, il est possible de la prendre en dessous de 50. Il a eu l'occasion de se rendre dernièrement à l'Exposition de Buffalo où une puissance de 5,000 chevaux était transmise du Niagara, au palais de l'Exposition, pour l'éclairage seulement, à la fréquence de 25 périodes et l'on ne constatait pas, à moins d'une observation attentive, de variation dans l'éclat des lampes à incandescence, de sorte qu'avec une fréquence légèrement supérieure à 25, les variations seraient invisibles. Pour les lampes à arc, une fréquence quelque peu plus élevée serait désirable; pour la transmission de la puissance, on sait qu'une plus basse fréquence est préférable.

Il fait en outre observer que les lampes à arc à l'air libre cèdent de plus en plus la place aux lampes à arc enfermés, et qu'il est possible de les grouper en série sur une distribution triphasée.

Sur interpellation du Président, le professeur CARHART confirme qu'aux Etats-Unis, les lampes à arc à l'air libre disparaissent, qu'on

ne les rencontre plus que dans les vieilles installations, et que les lampes à arc enfermées sont employées dans les nouvelles, qu'elles soient alimentées par les courants continus ou les courants alternatifs.

M. W.-B. ESSON pense que les opinions ont jusqu'ici beaucoup différé en ce qui concerne les avantages relatifs des courants de phases différentes, mais que l'on est actuellement en état de tirer des conclusions. Quant au conducteur neutre employé avec le courant alternatif, il ne pense pas qu'il joue le même rôle que la distribution à trois fils dans le courant continu, au sujet de la dépense en cuivre. Avec le courant alternatif monophasé, on peut évidemment employer un système à trois fils, mais on ne conçoit pas qu'avec une même dépense de cuivre ou à peu près, on se prive des avantages des courants polyphasés pour conserver l'ancien système à courant monophasé. Les stations utilisant primitivement ce dernier ont été transformées de manière à utiliser du courant biphasé. On a adopté ce dernier au lieu du triphasé pour des raisons de facilités, motivées par la canalisation existante.

M. ESSON affirme qu'il ne sera plus établi en Grande-Bretagne de stations utilisant du courant monophasé, à moins de circonstances spéciales, mais que toutes produiront, soit du triphasé, soit du continu.

M. le professeur SYLVANUS THOMPSON n'est pas tout à fait d'accord avec M. ESSON, quand celui-ci affirme que les idées sur la matière prennent corps définitivement; il y a et il y aura de fréquentes exceptions à la règle proposée, non seulement dans le cas cité par M. ESSON, mais encore dans d'autres. Il signale l'opinion de M. FERRANTI qui espère le retour au système monophasé, mais il ne la partage pas cependant; les complications du tableau de distribution et des autres parties d'une installation par courant triphasé sont plus imaginaires que réelles.

M. W. G. RHODES pose la question de savoir quel est le meilleur moyen à adopter: le transformateur statique et le convertisseur, le générateur moteur synchrone ou le générateur moteur asynchrone? Quelques personnes considèrent la combinaison du transformateur statique et du convertisseur comme étant la meilleure solution parce que son efficacité est nécessairement plus grande que celle des deux autres, puisque, dans le transformateur, il n'y a pas de pertes par frottement et dans le convertisseur, exempté en monophasé, les pertes en cuivre sont moindres que celles d'une machine, soit génératrice, soit motrice. Le générateur moteur asynchrone est

le plus mauvais système des trois parce que le facteur de puissance du moteur asynchrone nécessite une plus grande installation à la station génératrice que celle nécessaire autrement.

A un point de vue théorique, M. RHODES a déjà signalé que la combinaison d'un transformateur statique et d'un convertisseur rotatif doit être préférée. Il appartient à ceux qui ont une grande expérience de dire quel est le meilleur système, de la combinaison du transformateur statique et du convertisseur rotatif ou bien du générateur moteur synchrone. Cette question intéresse principalement la transmission de la puissance pour les chemins de fer secondaires d'assez long parcours où l'emploi des courants continus serait trop coûteux.

M. BLATHY répond que cela dépend des conditions à satisfaire. Si l'on doit faire usage d'accumulateurs en même temps que de dynamos à courant continu, on trouvera généralement avantageux d'employer des générateurs moteurs, parce que la charge des accumulateurs avec une tension plus élevée que celle à laquelle ils doivent être employés est quelque peu plus difficile avec un convertisseur rotatif. Dans tous les cas où l'on ne fera pas usage d'accumulateurs, le convertisseur rotatif et le transformateur statique seront supérieurs tant au point de vue de la dépense de premier établissement que de l'efficacité et dans l'aptitude à porter des surcharges; mais le système le plus convenable à employer pour les tramways et les railways dépendant d'une station centrale, à son avis, consiste à alimenter les moteurs directement par du courant triphasé, sauf dans quelques cas exceptionnels. Il n'existe absolument aucune difficulté de réglage et pas de perte inutile; même dans le cas de petits parcours et de fréquents arrêts, l'économie du système polyphasé pour les tramways est au moins égale à celle du système par courant continu, que celui-ci soit engendré à la station ou non. Sous ce rapport, un très grand progrès a été réalisé tout récemment et donnera ses preuves dans le prochain fonctionnement d'un chemin de fer qu'il a établi en Italie. Ce chemin de fer a 100 kilomètres de longueur environ, il a été exploité jusqu'ici par la vapeur; la vitesse y est d'environ 65 kilomètres à l'heure; c'est la première ligne de chemin de fer à long parcours équipée pour l'emploi du courant triphasé.

Sur diverses interpellations du Président, M. BLATHY répond que le transport des marchandises se fera à la vitesse de 32 kilomètres à l'heure et que la dépense d'énergie, par tonne transportée, prise à la station centrale n'est pas plus élevée que celle nécessaire pour faire le même travail avec du courant continu.

Il n'existe, d'autre part, aucune limitation à la charge des trains, et ceux-ci sont au moins aussi lourds que lorsqu'ils sont conduits par des machines à vapeur. Le même poids de la locomotive électrique pourra plutôt remorquer une plus forte charge et l'adhérence sera augmentée.

Il y a un autre point sur lequel l'attention n'a peut être pas été portée. Dans toute locomotive à vapeur, le couple sur la roue motrice est très variable; il varie entre 2 et 3; le poids pour l'adhérence doit être calculé pour le maximum. Dans la locomotive électrique le couple est absolument uniforme et le poids total d'adhérence est apte à utiliser le travail des moteurs. La locomotive électrique sera suffisante pour au moins 30 ou 40 % en plus de puissance motrice que la locomotive à vapeur d'un poids égal d'adhérence. Il faut aussi considérer que la locomotive électrique supprime le tender, ce qui représente en moyenne 30 tonnes, c'est-à-dire environ 10 % du poids total du train. Il en résulte que, simplement par suite du remplacement, par la traction électrique, de la traction à vapeur, on réalise une économie d'environ 10 % sur le poids total à remorquer, ou bien l'on peut augmenter la charge utile de cette quantité.

M. BLATHY déclare qu'il désirerait en outre entretenir le Congrès de la question de la fréquence. On a adopté généralement le nombre 50, d'après les indications données. Il conteste le fait et prétend que la fréquence dans le plus grand nombre de nouvelles installations du Continent est de 42; c'est à peu près la plus basse fréquence que l'on puisse adopter pour les lampes à arc. Pour les lampes à incandescence on peut descendre à 22 périodes, et il y a un moyen d'employer une faible fréquence pour ces lampes. Si l'on place trois filaments dans une lampe ou, ce qui est la même chose, si l'on place trois lampes côte-à-côte, on peut faire usage d'une fréquence aussi basse qu'on le désire, même avec 10 périodes, et la lumière sera uniforme pour autant que la somme d'énergie transmise par le circuit triphasé soit constante. Le flux d'énergie est uniforme avec le système triphasé et c'est là un avantage de ce dernier; dans le système monophasé, le flux d'énergie varie constamment entre un maximum et zéro; dans le biphasé, il varie entre 7 et 10; mais, dans le triphasé, en supposant une charge uniforme, le flux d'énergie est constant et il est évident que le plus économique des systèmes, considéré à un point de vue philosophique, doit être celui-là, et c'est une raison en faveur de la supériorité du courant continu avec son flux uniforme

d'énergie sur le système alternatif monophasé. Cet avantage est partagé par le système triphasé, mais non par le bi ni le monophasé.

M. BLATHY s'occupe ensuite de la transformation des stations monophasées en polyphasées. On ne peut notamment faire cette transformation qu'en biphasé quand les câbles existants sont concentriques, à cause d'une question de capacité ; mais toute nouvelle installation doit se faire en triphasé.

M. GEIPEL rapporte le résultat d'une expérience faite en groupant d'abord des lampes sur les trois phases, puis en supprimant toutes celles de deux phases, en conservant les autres, tout en activant les moteurs comme avant ; il en est résulté une chute de tension de 2 %, ce qui ne doit pas avoir lieu.

Le système triphasé permet d'abaisser le voltage des lampes, tout en conservant l'économie résultant du haut voltage pour les moteurs. Les générateurs triphasés sont, en outre, pour une même puissance, beaucoup moins coûteux que les générateurs monophasés.

M. FIELD réplique que la discussion a dépassé les limites de son mémoire, qui était consacré uniquement à l'étude des moteurs triphasés pour tramways et non pour chemins de fer, lesquels réclament des circuits à haute tension et non à basse tension.

Il fait remarquer qu'il ne comprend pas bien ce qu'entend M. BLATHY quand il dit que le flux d'énergie dans le biphasé varie entre 7 et 10. Il a toujours considéré que la puissance dans le circuit biphasé est à tout instant, théoriquement, aussi constante que dans le triphasé, pourvu que la charge soit équilibrée dans chaque cas.

En prenant le cas du biphasé, dans la face *A* on a :

$$\begin{aligned}\text{Volts} &= V \sin kt; \\ \text{Courant} &= C \sin (kt - \varphi).\end{aligned}$$

Dans la phase *B*, on a :

$$\begin{aligned}\text{Volts} &= V \sin (kt + 90^\circ); \\ \text{Courant} &= C \sin (kt + 90^\circ - \varphi).\end{aligned}$$

La puissance totale est conséquemment :

$$VC (\sin kt \cdot \sin (kt - \varphi) + \sin (kt + 90^\circ) \cdot \sin (kt + 90^\circ - \varphi)).$$

Cette expression développée donne une quantité indépendante de *t*.

Par analogie, le couple d'un moteur d'induction biphasé est théoriquement uniforme, tout comme celui d'un moteur d'induction triphasé. En pratique, toutefois, ces conditions idéales peuvent être plus complètement réalisées avec un système triphasé qu'avec un système biphasé.

Nous croyons utile de reproduire quelques extraits du rapport officiel sur le Congrès d'électricité de Paris en 1900, dans lequel il a été question, comme ci-dessus, des lampes à arc enfermé et de l'extension de leur emploi aux Etats-Unis.

« Les avantages des arcs enfermés sont : l'indépendance des foyers, leur montage en simple dérivation sur 110 volts ou par paires en série sur 220 volts, l'extrême simplicité du mécanisme, l'emploi des crayons de qualité médiocre, la consommation très réduite de charbons, la réduction de la main-d'œuvre.

» Leurs inconvénients, par contre, sont la teinte bleue de la lumière, les variations d'éclat qui ne peuvent être atténuées que par l'emploi d'un petit globe diffuseur absorbant une partie de la lumière; l'encrassement de celui-ci, par suite d'un dépôt ocreux de silice chargée d'un peu d'oxyde de fer pendant la combustion, et le rendement lumineux médiocre avec de gros charbons.

» ... Les arcs enfermés se sont très vite répandus aux Etats-Unis, grâce à leur simplicité et aussi aux moindres exigences du public au sujet de la fixité et du rendement de l'éclairage. En trois ans, ce système est devenu plus répandu que les lampes à arc ordinaire.

» ... On voit que l'arc enfermé à courant continu, bien que notablement inférieur à l'arc à l'air libre, présente encore une notable supériorité sur la lampe à incandescence ordinaire, et que ses grands avantages pratiques, cités plus haut, peuvent le faire préférer dans bien des applications à l'arc à l'air libre; aussi, aux Etats-Unis, où l'on se préoccupe beaucoup de simplifier la main-d'œuvre et d'économiser les charbons, qui sont chers relativement à l'énergie, l'arc enfermé a-t-il rapidement pris le pas sur l'arc libre.

» Il ne saurait en être de même de l'arc enfermé à courants alternatifs, car, d'après les essais récents de MM. Matthews, Thompson et Hilbish, son rendement est plus faible que celui des lampes à incandescence ordinaires : la consommation atteint, en effet, de 3 à 4.35 watts par bougie Hefner, aux bornes de la lampe, et 3.7 à 5.8 watts sur le réseau, au lieu de 2 pour l'axe enfermé à courant continu essayé comparativement. »

---

Nous avons, dans ce troisième article, complété l'examen des matières traitées dans les sections V, VI et IX, les seules dont nous ayons suivi les travaux:

Nous ferons remarquer que certaines des communications ayant figuré au programme n'ont, en réalité, pas été produites au Congrès, par suite de ce que leurs auteurs ne se sont pas présentés et n'ont pas fait parvenir leurs travaux en temps opportun.

Sont dans ce cas les travaux de la section des Mines renseignés dans la liste que nous avons donnée dans notre premier article, sous les numéros 6, 15, 16, 17 et 18.

Toutes les autres communications de cette section ont été analysées; il en est de même de toutes celles de la section V et de la plupart de celles de la section IX.

La table des matières qui termine ce dernier article est divisée par ordre des sections, et facilitera au lecteur la recherche des objets qui l'intéresseront particulièrement, dans l'ensemble de ceux que nous avons traités, librement et sans observer un ordre rigoureux, au cours des trois articles qui composent notre compte-rendu.

Bruxelles, avril 1902.

J. LIBERT et V. WATTEYNE.

## TABLE DES MATIÈRES

### Le Fer et l'Acier.

	Tome	Page
Liste des travaux présentés au Congrès . . . . .	VI	887
Les industries du fer et de l'acier de l'Ouest de l'Ecosse . . . . .	VII	92
La nomenclature de la métallographie . . . . .	VI	888
id. id. id. . . . .	VII	385
Les alliages du fer et du cuivre. . . . .	VII	394
L'influence du cuivre sur le fil d'acier . . . . .	VI	890
La méthode Brinell pour la détermination des propriétés du fer et de l'acier. . . . .	VII	436
Présence du calcium dans le ferro-silicium à haute teneur. . . . .	VI	890
Le spectre des flammes aux différentes périodes pendant le soufflage du Bessemer basique . . . . .	VII	468
Le traitement correct de l'acier. . . . .	VII	462
La bonne utilisation de la puissance des gaz des hauts-fourneaux . . . . .	VII	83
Les variations du carbone et du phosphore dans les lingots d'acier . . . . .	VII	430
Les efforts internes du fer et de l'acier . . . . .	VII	415

### Les Mines

Liste des travaux présentés au Congrès . . . . .	VI	892
L'adresse présidentielle . . . . .	VI	893
L'excursion aux charbonnages du district d'Hamilton . . . . .	VI	911
Les mines à l'Exposition . . . . .	VI	913
Généralités géologiques et statistiques sur les bassins houillers d'Ecosse. — Les houilles du calcaire carbonifère et les schistes pétrolifères du Lothian . . . . .	VII	473

	Tome	Page
Les mines d'or de Tarquah (Côte d'Or) . . . . .	VII	117
La fabrication des briques . . . . .	VI	894
Id. id. . . . .	VII	492
Les gisements aurifères de Klerksdorp (Transvaal)	VII	114
Les levés des plans de mines et leur raccord avec la surface par observation directe . . . . .	VI	896
Id. id. . . . .	VII	99
Les ressources minérales de la province de Québec (Canada) . . . . .	VII	110
L'exploitation et le traitement des minerais de cui- vre aux mines de Walkaroo et de Moonta (Australie du Sud) . . . . .	VII	509
Un nouveau diagramme du travail de la ventila- tion dans les mines . . . . .	VI	899
Les courants alternatifs et leurs applications possi- bles dans les mines . . . . .	VI	909
La fabrication du coke à Oliver (Pennsylvanie) .	VII	504

### L'Électricité

Liste des travaux présentés au Congrès . . . . .	VI	914
L'électricité à l'Exposition de Glasgow . . . . .	VI	915
Les voitures de chemins de fer à grande vitesse.	VII	519
Les dangers des lignes de trolley et leur prévention.	VI	921
Id. id. . . . .	VII	516
Les avantages relatifs des systèmes mono-, bi- et triphasés pour l'alimentation des réseaux à basse tension . . . . .	VII	550

---

DICTIONNAIRE  
DES  
MATIÈRES EXPLOSIVES <sup>(1)</sup>

[662.03]

---

M. l'Ingénieur Daniel, bien connu des lecteurs des *Annales des Mines de Belgique*, vient de publier, sous ce titre, un ouvrage éminemment utile où sont réunis, par ordre alphabétique, les connaissances acquises sur l'importante question des poudres et des explosifs.

Le livre est précédé d'une préface due à la plume si hautement autorisée de M. Berthelot.

Cette préface est à la fois un article bibliographique et une intéressante notice historique. A ce double titre, nous ne croyons pouvoir mieux faire que de la reproduire ici :

« Voici un gros livre, un bon livre, un volume utile consacré à l'étude essentiellement pratique des matières explosives, employées dans les travaux de mines et pour les applications militaires et industrielles les plus diverses.

L'usage des explosifs et leur existence même était ignorée dans l'antiquité : ce ne sont pas des produits naturels, dont l'empirisme pur ait pu révéler l'existence ou les propriétés ; ce sont là des œuvres artificielles, des inventions de la science européenne.

La découverte du feu grégeois par les Byzantins, vers le VII<sup>e</sup> siècle de notre ère, en fut la première origine. Non que le feu grégeois constituât par lui-même une matière explosive : c'était un mélange de substances inflammables, résines, soufre, pétroles, bitume, avec le salpêtre, sel dont les Grecs et les Romains n'avaient pas soupçonné les qualités comburantes et qu'ils ne distinguaient même pas des autres sels, tels que le sulfate de soude, le carbonate de soude, le chlorure de sodium, susceptibles de s'effleurir à la surface des terres,

---

(1) Bruxelles. Falk fils, éditeur, rue du Parchemin, 15 ; Paris, V<sup>ve</sup> Dunod, éditeur, quai des Grands-Augustins, 49.

ou des vieux murs. On ignore par quelle circonstance on s'aperçut que le salpêtre avivait le feu, et comment son mélange avec les résines constituait une matière combustible, que l'eau n'éteignait pas et qui pouvait même continuer à brûler sous l'eau. Cependant, ce mélange fut mis en œuvre à Constantinople, siège d'une science déjà raffinée, et il fut utilisé pour détruire les flottes des Sarrassins et celles des Russes, dirigées contre cette capitale. Il jouait un grand rôle au temps de croisades. A la longue, l'emploi du feu grégeois révéla l'existence d'une force projective, utilisée d'abord dans les fusées, et d'une force explosive, mise en œuvre dans les pétards : à l'origine, on la redoutait fort et l'on s'efforçait d'en prévenir les effets, dangereux pour les opérateurs.

Au <sup>xiv</sup><sup>e</sup> siècle seulement, la science occidentale commençait à s'éveiller de nouveau : l'un de ses premiers progrès consista dans l'invention de la poudre à canon, mélange de salpêtre, de soufre et de charbon, c'est-à-dire dans l'utilisation, pour l'art de la guerre et la projection des boulets et carreaux, de ses propriétés explosives. La face du monde ne tarda pas à être changée par son emploi. Observons que c'est à tort qu'il a été attribué aux Chinois : dans cet ordre, de même que dans la plupart des autres, les Chinois ont emprunté à peu près toutes leurs connaissances scientifiques à l'Occident. L'histoire de l'origine de la découverte de la poudre à canon, le prototype des explosifs, est aujourd'hui éclaircie. Parmi les renseignements que fournit cette histoire, on peut remarquer une circonstance capitale : son emploi dans l'artillerie, une fois révélé, se propagea avec une extrême promptitude chez les nations européennes. En effet, en 1338, lors d'une opération de guerre décrite par les textes retrouvés dans nos archives par Lacabane, on se borne à acheter une livre de salpêtre et une demi-livre de soufre, destinés aux pots de fer (bombardes) qui lançaient des carreaux à feu, grandes flèches à pelote incendiaire. Tel est l'humble commencement de la substitution de la force balistique de la poudre à celle des arbalètes à tour et des mangonneaux, seule artillerie usitée jusqu'alors. En 1339, au siège de Cambrai, figurent la poudre et dix canons métalliques, engins de faible calibre, car ils coûtaient seulement 2 livres 10 sous 3 deniers chacun. En 1345, on fabrique à Cahors 60 livres de poudre ; et l'année suivante, à Crécy, les Anglais mettent en ligne trois petits canons. Cependant l'importance de ces nouvelles armes de guerre se manifesta à tel point que, cinquante ans après, toutes les grandes

villes et châteaux-forts en étaient pourvus : en guerre, nul ne veut rester inférieur à ses adversaires, sous peine de défaite ou de ruine. L'art des mines, tant pour la guerre que pour l'industrie, ne tarda pas à mettre en œuvre la poudre à canon, comme le montrent les descriptions et les images des manuscrits depuis l'an 1400 : on y voit notamment l'emploi de la poudre pour la destruction des troncs d'arbre.

Dès lors le feu grégeois, naguère si réputé, disparaît rapidement de la pratique. Cependant, ses recettes, contrairement à une opinion fort répandue, n'ont jamais été perdues : elles figurent non seulement dans les manuscrits, mais dans les ouvrages imprimés du *xvi<sup>e</sup>* siècle, et elles se sont perpétuées par la composition de la roche à feu, encore usitée aujourd'hui dans les bombes, comme matière incendiaire, projetée au moment de l'explosion des projectiles.

Si j'ai cru intéressant d'entrer dans ces détails historiques, c'est que, de notre temps, nous avons observé un changement plus prompt encore, lors de la substitution des nouveaux explosifs à la poudre noire, laquelle tend aujourd'hui à disparaître de la pratique, comme l'ancien feu grégeois.

La première atteinte à la domination exclusive du salpêtre, en tant que base des poudres de guerre, fut apportée par Berthollet, lorsqu'il découvrit le chlorate de potasse et ses propriétés éminemment combustibles, dans les dernières années du *xviii<sup>e</sup>* siècle. Il eut aussitôt l'idée de fabriquer avec ce sel, mélangé au soufre et au charbon, une nouvelle poudre, plus énergique que l'ancienne. Ces essais, poursuivis d'abord avec quelque succès, se terminèrent par une explosion terrible, où périrent plusieurs personnes.

Les progrès de la chimie firent connaître bientôt, au commencement du *xix<sup>e</sup>* siècle, un certain nombre de matières explosives, telles que l'or fulminant, l'argent fulminant, le fulminate de mercure, matière que leur sensibilité au choc écarta d'abord de tout emploi. Cependant, le fulminate de mercure et certains mélanges du chlorate de potasse avec le phosphore, le sulfure d'antimoine, etc., ne tardèrent pas à être employés comme amorces.

Vers 1846, les progrès de la chimie organique conduisirent à la découverte de matières explosives plus maniables, telles que la nitroglycérine, le coton nitrique et, plus généralement, les dérivés nitriques d'un grand nombre de composés hydrocarbonés. Un chimiste suisse, Schœnbein, eut l'idée d'employer l'un d'eux, le coton nitrique,

à la place de la poudre à canon ; il l'appela le *coton poudre*. Cette invention eut d'abord quelque succès. Mais le nouvel explosif détonait trop violemment et endommageait les armes. Les essais que divers gouvernements exécutèrent pour le fabriquer en grand aboutirent presque tous à de terribles catastrophes, par suite de la décomposition spontanée du coton nitrique, dont on ne savait pas alors assurer la stabilité ; de telle sorte qu'à partir de 1864, sa fabrication, en vue de remplacer la poudre à canon, fut à peu près abandonnée. Néanmoins, ces études furent poursuivies dans l'emploi des mines, en raison de l'énergie plus grande qu'on avait cru constater empiriquement dans les nouveaux explosifs.

L'un d'eux particulièrement, la nitroglycérine, en raison du bas prix de sa matière première et de la facilité de sa préparation, prit une certaine importance dans les applications. Mais, cette fois encore, la grande sensibilité au choc de l'explosif détermina des accidents épouvantables, dans les localités et sur les navires où l'on en avait réuni des quantités considérables. Ce fut un Suédois, Nobel, qui trouva le moyen de régulariser l'emploi de la nitroglycérine, à l'aide d'un artifice déjà bien connu par l'étude de la poudre noire, lequel consiste à mélanger la nitroglycérine avec une matière inerte convenablement choisie. Il employa d'abord une variété de silice amorphe, connue sous le nom de Kiesel-Guhr, constituée par les carapaces d'infusoires microscopiques. Nobel désigna le mélange ainsi obtenu sous le nom de *dynamite*, et reconnut en outre qu'il ne détonait pas par simple inflammation à l'air libre, mais seulement par le choc d'une amorce, spécialement d'une amorce au fulminaté de mercure. Cette invention, brevetée par Nobel en 1867, devint pour lui la source d'une fortune considérable et son succès encouragea les tentatives pour mettre en œuvre d'autres matières explosives, telles que les picrates et plusieurs dérivés nitriques. D'autre part, le chimiste anglais Abel, par une étude approfondie de la préparation de la poudre-coton, détermina les conditions propres à en assurer la stabilité ; ce qui permit d'en reprendre l'emploi avec une sécurité inconnue auparavant.

Tous ces essais présentaient un caractère purement empirique et il n'existait jusqu'alors aucune théorie qui permit de prévoir à l'avance ou de calculer la force d'une matière explosive, soit ancienne, soit nouvelle.

Ayant été conduit à expérimenter les matières explosives sur une

grande échelle, pendant le siège de Paris, j'ai montré, pour la première fois, comment, étant connues la composition chimique d'une matière simple ou mélangée et la nature des produits développés par son explosion, on pouvait en déduire *a priori* la force de cette matière, pourvu que l'on en déterminât à l'avance la chaleur de formation par les éléments de tous les corps simples ou composés intervenant dans la réaction. En effet, on calcule ainsi la chaleur dégagée dans la réaction même, et le volume des gaz développés. Ces deux données permettent d'évaluer le travail et la pression maximum que l'explosion est susceptible de produire, en supposant réalisées les circonstances les plus favorables. Pour fournir les données nécessaires à ces calculs, j'ai mesuré la chaleur de formation de l'acide azotique du salpêtre, et des azotates, jusque-là inconnue, celle de la nitroglycérine, de la poudre-coton, celle des chlorates et des perchlorates, celle de l'azotate d'ammoniaque et du bioxyde d'azote; bref avec le concours de M. Sarrau et de M. Vieille, j'ai dressé le tableau de toutes les données thermo-chimiques indispensables pour calculer la force des matières explosives. J'y ai joint une étude approfondie des autres circonstances fondamentales qui en déterminent les effets, telles que la vitesse des réactions explosives et le mécanisme de leur propagation, spécialement lors de l'emploi du fulminate de mercure, ainsi que la théorie des explosions par influence. J'ai été ainsi conduit, dans des études faites en commun avec M. Vieille, à la découverte de l'onde explosive, qui joue un rôle capital dans une multitude de phénomènes.

A la suite de ces travaux, la comparaison entre les matières explosives connues autrefois et les matières nouvelles a pu se faire à l'avance et d'une manière générale; sans exclure cependant la nécessité de vérifier, par des épreuves spéciales, les conséquences de ces théories, dans les conditions particulières des applications.

L'un des premiers fruits de semblables déterminations fut d'éclaircir les causes, jusque-là obscures et mystérieuses de la différence qui existe entre la force de la poudre noire et celle des nouveaux dérivés nitriques, tels que la nitroglycérine et la poudre-coton. En effet, j'ai constaté que l'énergie de l'acide nitrique, qui sert de base à ces poudres aussi bien qu'au salpêtre, subsiste dans la nitroglycérine et la poudre-coton, suivant une proportion double environ de celle qui est conservée dans le salpêtre, base de la poudre noire. En conséquence, j'ai pu annoncer, il y a trente ans, que la poudre noire, legs des âges barbares, était destinée à avoir le sort de l'antique feu gré-

geois et à disparaître dans un court espace de temps, prophétie aujourd'hui vérifiée.

Un tableau général de la force relative des divers groupes d'explosifs, à base d'azotate, de chlorate, de dérivés nitriques, sur la comparaison desquels on ne possédait jusque-là que de vagues données, put dès lors être dressé.

Les études sur les matières explosives, appuyées désormais sur des notions plus précises, ont pris une extension chaque jour plus considérable et une importance immense, particulièrement dans les industries minières. La découverte de la poudre sans fumée par M. Vieille, en 1886, bientôt imitée chez tous les peuples civilisés, a amené la disparition de la poudre à canon, qu'elle a remplacée dans les armes de guerre. Les explosifs nouveaux, tels que l'acide picrique et la poudre-coton comprimée, se sont également substitués à la poudre noire dans les obus et projectiles explosifs.

C'est le vaste tableau de ces nouveaux progrès et de la multitude des matières explosives inventées chaque jour, que présente l'intéressant ouvrage de M. Daniel.

Les monographies que renferme ce Dictionnaire sont surtout pratiques, comme il convient à un ouvrage destiné aux industriels et aux ingénieurs. On pourrait en dresser une longue liste et analyser les faits et les détails qui y sont exposés, avec beaucoup de clarté et de méthode. Mais il suffira d'appeler l'attention du lecteur sur les articles suivants, relatifs à des sujets, à des questions qui jouent un rôle important dans les applications :

Tel est le calcul des éléments caractéristiques, calcul dont le principe a été indiqué plus haut, mais qui exige le concours des théories thermodynamiques.

L'étude du celluloïd, celle de la poudre à canon et du charbon, destiné à sa fabrication, étude spéciale qui remplissait autrefois les traités de matières explosives, et que les progrès de la science ont réduites à occuper à peine quelques pages dans les ouvrages modernes ;

La fabrication de la poudre sans fumée de Vieille et celle de la cordite, base des poudres anglaises, qui a été imaginée à son imitation ; les détonateurs, la dynamite, les gélatines explosives, l'emploi de l'électricité pour le tirage des mines, et, plus généralement, les conditions de l'emploi des explosifs dans toutes sortes d'applications, sont l'objet d'articles intéressants. Je signalerai, en particulier, les

explosions sous-marines pour la destruction des récifs, lesquelles ont donné lieu aux applications grandioses.

On trouve également dans le présent ouvrage des détails curieux sur les engins criminels employés par les conspirateurs et par les anarchistes, à différentes époques.

La glycérine, matière première, forme un article spécial.

La question des explosifs dits de sûreté, qui a pris une si grande importance dans les mines à grisou, est traitée avec le soin qu'elle comporte.

La préparation et la purification du salpêtre et de l'acide azotique, base de la plupart des nouveaux explosifs, a conservé ici la même importance qu'autrefois.

Mais l'auteur a développé à juste titre les préparations de ses dérivés, tels que la nitrocellulose, la nitroglycérine, l'acide picrique, base de la mélinite de Turpin, les nitrobenzines, etc.

Bref, le livre de M. Daniel constitue une véritable encyclopédie des explosifs, presque innombrables, qui ont été inventés depuis un quart de siècle. C'est un manuel pratique, indispensable pour les ingénieurs, industriels et les artilleurs.

---

RÉGLEMENTATION  
DES  
Mines, Carrières, Usines, etc.,  
A L'ÉTRANGER  
ALLEMAGNE

Règlement des mines de l'Inspection générale  
de Breslau <sup>(1)</sup>

18 JANVIER 1900

(Suite) <sup>(2)</sup>

[3518233(4314)]

TITRE VII  
EXPLOSIFS

CHAPITRE I. — Achat d'explosifs

I. — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

§ 131. — *Explosifs autorisés. Explosifs brisants.*

1. Les seuls explosifs autorisés dans les mines sont ceux cités au § 2 du règlement de police édicté le 19 octobre 1893, par le ministre de l'Intérieur, de l'Industrie et du Commerce, au sujet du transport des explosifs; ils seront sous la forme et munis de l'emballage indiqués au § 6 de cet arrêté.

2. On appellera dans le présent arrêté, explosifs brisants, ceux à qui sont applicables les alinéas 1 et 2 du § 1 de la loi de l'Empire du 9 juin 1884, contre l'emploi criminel des explosifs (*Journal officiel*, pp. 61 et suivantes). Appartiennent donc à cette catégorie :

Dynamite Guhr, gelatine explosive, gélatine-dynamite ;  
Carbonite et autres explosifs à base de nitroglycérine;

(1) *Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen*. Trad. par M. l'ingr BOLLÉ

(2) Voir *Annales des Mines de Belgique*, 1<sup>re</sup> liv., p. 121.

Coton-poudre ;  
Sécurité, roburite, Dahménite, Westfalite et explosifs analogues ;  
Amorces et détonateurs.

§ 132. — *Personnes pouvant se procurer des explosifs.*

1. Seuls les propriétaires des mines (§ 256) et leurs délégués peuvent acheter des explosifs et des détonateurs.

2. Les mineurs ne peuvent se procurer les explosifs et détonateurs qui leur sont nécessaires, qu'à l'administration de la mine où ils sont occupés.

§ 133. — *Registre d'entrée des explosifs.*

1. Dans chaque mine on tiendra un registre des explosifs achetés pour les nécessités du service ; il mentionnera la quantité entrée de chaque espèce, la date de la réception, l'origine et l'endroit où la fourniture a été déposée.

2. Ce registre sera toujours à la disposition de l'ingénieur des mines.

II. — DISPOSITIONS SPÉCIALES RELATIVES AUX EXPLOSIFS  
DE SÛRETÉ.

§ 134. — *Avis accompagnant la livraison d'explosifs de sûreté.*

Dans les mines où le tir à la poudre noire est totalement ou partiellement interdit (§§ 189, 190 et 192), les propriétaires (§ 256) ou leurs délégués ne peuvent se procurer les explosifs réputés de sûreté au point de vue de l'inflammation du grisou ou des poussières de charbon dont l'emploi est obligatoire, que si la fourniture est accompagnée d'un avis délivré par le fabricant d'explosifs, avis portant les renseignements suivants :

- a) Nom de l'explosif, avec la mention « explosif de sûreté » ;
- b) Année et mois de la fabrication ;
- c) Composition quantitative de l'explosif (les différents constituants seront donnés exactement à 0.5 % près) ;
- d) Numéros des caisses d'explosifs fournies ;
- e) Nom de la fabrique et des personnes responsables de la fabrication.

§ 135. — *Détermination de la composition des explosifs de sûreté.*

L'Administration des mines a le droit de faire vérifier par analyse

chimique, aux frais du propriétaire de la mine, si la composition des explosifs de sûreté déclarée par le fournisseur est conforme à la réalité.

§ 136. — *Modifications de composition. Nouveaux explosifs de sûreté.*

1. S'il résulte des déclarations du fabricant que la composition d'un explosif de sûreté a été modifiée, ou si le directeur des travaux achète un nouvel explosif de sûreté qui n'a pas encore été essayé, il doit en aviser l'Administration des mines; si celle-ci le demande, il doit faire éprouver ces explosifs dans une galerie d'essai.

2. Il en est de même si l'analyse de contrôle a établi que la composition d'un explosif diffère de celle déclarée par le fabricant.

CHAPITRE II. — **Emmagasinage des explosifs.**

§ 137. — *Chambres de dépôts d'explosifs. Dépôts isolés. Autorités compétentes.*

L'emmagasinage des explosifs utilisés pour les travaux des mines dans des dépôts dépendant de l'Administration des mines peut se faire ou non au lieu de consommation, en observant les prescriptions suivantes :

1. A proximité des lieux de consommation, les explosifs ne peuvent être conservés que dans des chambres d'explosifs (dépôts de consommation) satisfaisant aux prescriptions des §§ 138 à 153, ou dans des dépôts intermédiaires, conformément au § 154, moyennant l'autorisation de l'ingénieur des mines.

2. En dehors des lieux de consommation, les explosifs ne peuvent être conservés que dans des dépôts isolés, écartés des lieux fréquentés, sous les conditions suivantes :

a) La poudre, le salpêtre détonant ou déflagrant, les artifices et les amorces, ne peuvent être emmagasinés dans des dépôts isolés que si la police locale s'est assurée, conjointement avec l'Administration des mines, de la sécurité de ces dépôts ;

b) L'emmagasinage de tous les autres explosifs ne peut se faire dans ces dépôts isolés qu'en vertu d'une autorisation de l'ingénieur des mines et en observant les prescriptions du § 155.

## I. — DÉPÔTS DE CONSOMMATION A LA SURFACE ET AU FOND.

## a) DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

§ 138. — *Importance du dépôt.*

1. L'installation des dépôts d'explosifs dans les établissements soumis à la surveillance de l'Administration des mines, au fond et à la surface (dépôts de consommation), sera soumise aux conditions fixées dans chaque cas particulier par l'ingénieur des mines, s'ils ne doivent pas contenir plus de 50 kilogrammes d'explosifs.

2. L'installation des dépôts devant contenir plus de 50 kilogrammes d'explosifs est soumise aux règles fixées aux §§ 139 à 153.

§ 139. — *Forme et programme des demandes d'autorisation.*

Les demandes d'autorisation de dépôts d'explosifs seront adressées en double expédition. On y joindra, en double expédition :

1. Pour les dépôts souterrains, un plan dressé et signé par un géomètre agréé, à l'échelle 1 : 2,000, avec légende. Le plan et la légende doivent suffire à faire connaître parfaitement l'emplacement du dépôt et les installations avoisinantes.

2. Pour les dépôts de la surface, un plan dressé et signé par un géomètre agréé, à l'échelle de 1 : 1000, avec légende. Le plan et la légende doivent suffire à faire connaître la région avoisinant le dépôt ; ils donneront notamment sa position relativement aux bâtiments voisins, chemins publics, chemins de fer et aux autres bâtiments servant de dépôts d'explosifs.

§ 140. — *Conditions d'autorisation.*

1. L'autorisation d'installer un dépôt de plus de 50 kilogrammes d'explosifs sera refusée s'il ne satisfait pas aux §§ 144 à 152, pour les dépôts souterrains, ou au § 153 pour les dépôts à la surface.

2. L'ingénieur des mines stipulera en outre les conditions spéciales auxquelles sera soumise l'installation du dépôt.

§ 141. — *Emmagasinage de plus de 500 kilogrammes d'explosifs.*

1. L'autorisation d'installer un dépôt d'explosifs est normalement soumise à la condition qu'il ne contiendra pas plus de 500 kilogrammes d'explosifs.

2. L'autorisation d'emmagasiner des quantités plus fortes peut être accordée par l'Inspecteur général des mines, sur la demande du propriétaire de la mine (§ 256). La demande sera conforme aux indications du § 139.

§ 142. — *Réception du dépôt d'explosifs.*

1. Les dépôts d'explosifs peuvent seulement être utilisés comme tels, lorsque l'ingénieur des mines a vérifié sur les lieux leur construction et leur installation et a donné l'autorisation écrite de mise en usage.

2. Cette autorisation reçue, on reportera l'installation au plan de la mine, en y mentionnant la date de l'autorisation et de la réception officielle.

§ 143. — *Indication du contenu.*

1. Dans les dépôts où l'on conserve des explosifs brisants (§ 131, 2<sup>me</sup> alinéa), on aura un livre d'entrées et de sorties, permettant de s'assurer à chaque instant de la contenance du dépôt en explosifs.

2. Ce livre sera toujours à la disposition de l'ingénieur des mines pour examen et vérification.

b) DÉPÔTS SOUTERRAINS.

§ 144. — *Emplacement du dépôt. Voies d'accès.*

1. Les dépôts souterrains d'explosifs doivent être à l'abri de tout danger d'éboulement et d'inondation; ils seront au moins à 100 mètres du puits le plus proche, en activité, au moins à 10 mètres des plans inclinés, et voies de transport ou de circulation.

2. Sur la demande du propriétaire de la mine (§ 256), l'inspecteur général des mines peut autoriser conditionnellement une réduction de cette distance de 100 mètres.

3. Les voies aboutissant aux dépôts d'explosifs doivent, s'il n'y a pas une voie d'entrée et une voie de sortie, être divisées en deux par une cloison sur toute leur longueur, de telle façon que les ouvriers entrant et sortant ne risquent pas de se rencontrer.

§ 145. — *Antichambre. Chambre du dépôt.*

1. Les dépôts d'explosifs doivent consister en deux parties séparées par une porte obturatrice; la première de ces parties (antichambre) sert à la distribution des explosifs, la deuxième (chambre), à leur dépôt proprement dit.

2. Chacune de ces parties sera toujours fermée, de telle façon qu'il soit impossible aux personnes dont ce n'est pas la mission, d'y pénétrer sans employer la violence.

3. La paroi extérieure de la porte d'entrée à l'antichambre portera, en caractères visibles, les mots : « Attention ! Explosifs ! »

§ 146. — *Eclairage de l'antichambre.*

Comme dispositif d'éclairage continu pour l'antichambre, on ne pourra employer que des lanternes ou lampes à incandescence placées à l'extérieur ; ces dernières seront suffisamment protégées contre toute dégradation.

§ 147. — *Grandeur de la chambre.*

Les chambres servant de dépôts d'explosifs seront sèches et assez spacieuses pour qu'on puisse facilement les remplir et les vider, sans choquer ni détériorer l'emballage des explosifs, et pour qu'on puisse, en tout temps, visiter facilement le dépôt.

§ 148. — *Emmagasinage des récipients d'explosifs.*

Les récipients (caisses) d'explosifs seront déposés dans la chambre, sur des chantiers en bois. Il y aura au plus six rangées superposées de caisses. On interposera entre les différentes rangées de caisses, un lit de planches unies.

§ 149. — *Emmagasinage des capsules et détonateurs.*

Les capsules et détonateurs ne peuvent être emmagasinés avec d'autres explosifs, que si leur nombre ne dépasse pas la consommation d'une semaine, et s'ils sont conservés dans un récipient spécial.

§ 150. — *Accès aux dépôts d'explosifs.*

1. Il est interdit de pénétrer dans les dépôts d'explosifs avec une lumière découverte ou du tabac allumé.

2. L'accès de la chambre d'arrière (de dépôt) n'est permis qu'aux personnes chargées de la conservation, de la distribution des explosifs, ainsi qu'à celles chargées de leur réception, et aux ouvriers chargés de leur transport.

§ 151. — *Dépôts d'explosifs à base de nitroglycérine.*

Les dépôts contenant des explosifs brisants à base de nitroglycérine

(§ 131, 2<sup>me</sup> alinéa) seront soumis, indépendamment des §§ 144 et 150, aux prescriptions suivantes :

1. La température du dépôt ne peut dépasser 30° C, ni descendre sous 8° C ;
2. Le dépôt sera muni d'un thermomètre avec graduation Celsius, en bon état.

§ 152. — *Dépôt de poudre.*

Les dépôts dans lesquels on emmagasinera de la poudre noire seront soumis, indépendamment des §§ 144 à 150, aux prescriptions suivantes :

1. Tous les clous qui sont entièrement ou partiellement enfoncés dans les murailles intérieures du dépôt, seront en cuivre, zinc ou bois ; les clefs et verrous seront en bronze ou laiton ; les gonds des portes seront recouverts d'une chemise de laiton ou de cuivre ; d'une façon générale, les pièces en fer qui peuvent être mises en contact avec du fer, ou sur lesquelles on pourrait marcher, seront recouvertes d'une plaque de cuivre ou de zinc. Les seuils des portes seront en bois, et les planchers des deux compartiments (§ 145) seront recouverts d'un tapis mou (en crin, feutre, etc...).

2. On ne peut pénétrer dans l'antichambre qu'en s'éclairant au moyen de lampes de sûreté ou de lanternes en laiton, garanties contre toute détérioration par un fort grillage en laiton.

3. On ne peut pénétrer dans la chambre d'arrière (de dépôt), que pieds nus, ou chaussé de pantouffles en feutre ; on n'y introduira pas de lumière.

c) DÉPÔTS D'EXPLOSIFS A LA SURFACE.

§ 153.

1. Le dépôt d'explosifs à la surface est soumis aux conditions suivantes :

- a) Le dépôt sera distant d'au moins 50 mètres de tout bâtiment où l'on fait du feu, ou bien servant d'abri à n'importe qui, ainsi que des chemins publics et des chemins de fer.

- b) Les parois latérales seront massives ; le toit sera le plus léger possible, mais incombustible ; il n'y aura pas de voute sous lui.

- c) Les fenêtres ne pourront être que sur les côtés de la porte d'entrée. Elles seront munies à l'extérieur d'un fort grillage, à l'intérieur de volets recouverts de plaques de zinc.

d) Le dépôt sera entouré de toute part d'un parapet en terre, et sera garni d'un paratonnerre isolé.

e) L'accès au dépôt d'explosifs par le parapet en terre, formera une ligne brisée ou bien sera protégé par un cavalier couvrant complètement la baie.

2. Quant au reste, l'installation, la disposition et l'accès aux dépôts d'explosifs de la surface seront soumis aux §§ 140, 141 à 143 et 145 à 152.

d) MAGASINS INTERMÉDIAIRES.

§ 154.

1. Il est permis d'installer des dépôts dits intermédiaires, sous les conditions imposées dans chaque cas particulier par l'ingénieur des mines, indépendamment des dépôts souterrains; dans ces dépôts, on conservera les explosifs non utilisés pendant le poste de travail, et qui ont été déposés dans les cartouchières, conformément au § 169.

2. L'emmagasinement de ces explosifs dans les magasins intermédiaires n'est permis qu'à la condition que les explosifs restent dans les cartouchières, jusqu'à ce qu'ils soient restitués à leurs anciens propriétaires. Si ceci n'a pas lieu dans les trois jours suivant la date à laquelle la cartouchière a été déposée, les explosifs qui y sont contenus seront versés au dépôt de distribution.

II. — AUTRES DÉPÔTS QUE CEUX DE CONSOMMATION.

§ 155.

Les installations de dépôts des explosifs cités au § 137, 2b, dépôts écartés des lieux de consommation, sont soumises aux règles suivantes :

1. La demande d'autorisation sera conforme aux indications du § 139, 2.

2. L'installation du dépôt, sa disposition et son accès, seront soumis aux §§ 140, 142 et 143, aux §§ 145 à 151, au § 153, 1, b à e, ainsi qu'aux mesures suivantes :

a) Le dépôt sera situé au moins à 100 mètres de tout bâtiment où l'on fait du feu, ou bien servant d'abri à n'importe qui, ainsi que des chemins publics et des chemins de fer;

b) Le parapet en terre aura au moins 2 mètres de largeur à sa crête; le talus sera d'au moins 1/1; le talus intérieur sera éventuellement maintenu par un mur de soutènement, et aura une inclinaison

d'au moins 2/1, le mur de soutènement ne pouvant pas arriver à plus de 1 mètre sous la tête du parapet.

3. L'autorisation sera subordonnée à la condition qu'on emmagasinera au maximum 1,500 kilogrammes des explosifs cités au § 137, 2b. L'emmagasinage de quantités plus fortes est soumis au § 141, 2<sup>e</sup> alinéa.

### CHAPITRE III. — Transport des explosifs.

§ 156. — *Personnes pouvant s'occuper de la réception des explosifs et de la direction du transport.*

1. Les surveillants (§ 253) spécialement désignés par le propriétaire de la mine (§ 256), peuvent seuls faire la réception des explosifs fournis et diriger leur transport de ou vers les dépôts souterrains ou de surface ; ils seront désignés comme tels au registre de la mine ; on les fera connaître au personnel par affiches.

2. La réception des explosifs quelconques et la direction du transport des explosifs brisants (§ 131, 2<sup>e</sup> alinéa), ne peuvent être confiées qu'aux surveillants remplissant les conditions voulues par le § 2 de la loi de l'Empire du 9 juin 1884 (*Journal officiel*, pp. 61 et suivantes), pour pouvoir détenir des explosifs.

3. Ces surveillants ne pourront employer comme manœuvres pour la réception et le transport des explosifs que des ouvriers de confiance, âgés de plus de 21 ans.

4. Ces surveillants dirigeront le transport, sous leur responsabilité, en observant les règles de prudence indiquées par les circonstances.

§ 157. — *Maniement des récipients à explosifs.*

1. Le transport des explosifs de et vers les dépôts souterrains ou à la surface, ne peut se faire qu'en les laissant dans les récipients où ils ont été livrés (§ 131).

2. Pour amener les explosifs brisants (§ 131, 2<sup>e</sup> alinéa) dans les travaux souterrains et pour les y transporter, chaque récipient (caisse) sera enfermée dans un chariot fermé, ou une caisse en bois, avec interposition de sciure de bois, étoupe, crin, etc... ; ces caisses ou chariots seront pourvus de poignées solides en corde, cuir, etc.

§ 158. — *Transport d'explosifs dans les puits.*

Avant de transporter des explosifs dans des puits pourvus d'engins mécaniques, le préposé à ce transport doit en aviser le machiniste et l'accrocheur du fond. Le machiniste fera lentement l'extraction, déposera doucement la cage sur taquets; l'accrocheur retirera prudemment la caisse ou le chariot à explosifs, hors de la cage.

§ 159. — *Mesures de précaution lors du transport.*

1. Pendant le transport des explosifs, on évitera soigneusement de leur donner des chocs.

2. Il est interdit d'avoir des lampes ouvertes ou du tabac allumé, pour le transport.

3. Les charges d'explosifs dépassant 25 kilogrammes seront toujours confiées à deux porteurs.

4. Les personnes rencontrées par le transport seront averties de sa nature par le surveillant qui le dirige, qui leur criera les mots : « Attention, explosifs ! »

5. Les explosifs, quelle que soit leur nature, ne peuvent être transportés simultanément avec des amorces ou détonateurs.

§ 160. — *Eclairage du transport.*

Pour le transport des explosifs au fond, on ne fera usage que de lampes de sûreté en laiton, ou de lanternes garnies d'un grillage en laiton; elles ne pourront être portées par les personnes chargées d'explosifs, mais bien par leurs compagnons.

CHAPITRE IV. — **Distribution d'explosifs.**§ 161. — *Personnes pouvant distribuer les explosifs. Cartouches.*

1. La distribution d'explosifs ne peut être faite que par des surveillants (§ 253), désignés par le propriétaire de la mine (§ 256), renseignés comme tels au registre de la mine et dont les noms seront portés à la connaissance des ouvriers, au moyen d'affiches (§ 252).

2. La distribution des explosifs brisants ne pourra être confiée qu'aux personnes satisfaisant aux conditions imposées par le § 2 de la loi de l'Empire, du 9 juin 1884 (*Journal officiel*, pp. 61 et suiv.), pour la détention des explosifs.

3. La distribution des poudres qui sont employées de préférence pour le minage (notamment des explosifs composés de salpêtre, soufre et charbon, conformément à l'instruction du chancelier de l'Empire, du 13 mars 1885) peut être confiée également à des surveillants qui ne satisfont pas aux conditions indiquées au 2<sup>me</sup> alinéa ; il est entendu qu'il ne s'agit que de la distribution dans des dépôts où l'on n'emmagasinerait pas des explosifs brisants, en même temps que des poudres.

4. Les explosifs (y compris la poudre) ne peuvent être délivrés aux ouvriers que dans un état irréprochable, et sous forme de cartouches.

§ 162. — *Lieux de distribution.*

1. La distribution des explosifs ne peut se faire qu'en des points spécialement désignés.

2. Dans les dépôts d'une contenance de plus de 50 kilogrammes d'explosifs, l'antichambre (§ 145, 1<sup>er</sup> alinéa) peut seule être utilisée pour la distribution, la porte entre l'antichambre et la chambre d'arrière restant fermée.

3. La prescription du § 2 ne se rapporte pas à la distribution effectuée, en vertu du § 154, dans les magasins intermédiaires.

§ 163. — *Personnes pouvant recevoir des explosifs.*

1. Les explosifs ne peuvent être distribués que pour miner, dans les travaux de la mine, et qu'aux personnes pouvant les recevoir.

2. On ne peut distribuer des explosifs brisants (§ 131, 2<sup>me</sup> alinéa), qu'aux mineurs qui ont été désignés par le directeur des travaux, ou le chef-surveillant (§ 255), au chef de l'équipe (§ 222) des distributeurs d'explosifs. On ne pourra désigner, à cet effet, que des abatteurs (ou ouvriers à la pierre), de confiance, parfaitement au courant du minage et des prescriptions qui y sont relatives.

3. La poudre et les moyens d'amorçage peuvent être confiés à tous les abatteurs de confiance.

§ 164. — *Quantité à distribuer.*

1. Le préposé à la distribution ne peut distribuer aux personnes qui peuvent les recevoir (§ 163) que les quantités d'un explosif déterminé indiquées par écrit par le surveillant de chaque chantier.

2. Le surveillant de chantier ne peut pas demander plus d'explosifs que ce qui sera nécessaire, d'après ses prévisions, pour les

travaux à exécuter pendant un poste par le personnel placé sous ses ordres.

§ 165. — *Livre de sortie.*

1. Dans chaque dépôt servant à l'emmagasinage d'explosifs brisants (§ 131, 2<sup>me</sup> alinéa), on tiendra un registre mentionnant les quantités d'explosifs distribués.

2. On y indiquera le nom de la personne qui a reçu les explosifs, la date de la distribution, la quantité d'explosifs délivrés, ainsi que l'année de fabrication et les numéros des différentes cartouches.

3. Le livre de sortie sera à la disposition de l'ingénieur des mines pour examen et vérification.

§ 166. — *Mode de distribution. Cartouchières.*

1. Le préposé à la distribution des explosifs placera ceux qui sont destinés à chaque chef d'équipe, conformément au § 163, dans une cartouchière pouvant être fermée à clef, et munie d'un numéro correspondant à celui de l'équipe. Il fera cette opération en présence de celui à qui il remettra la cartouchière; il la fermera, et lui en remettra la clef, après que ce dernier se sera assuré que la cartouchière contient bien la quantité indiquée d'explosifs.

2. Les cartouchières employées pour le transport seront des boîtes en fer blanc, ou des sacoches en bois, munies de courroies de suspension.

3. Le transport des poudres peut se faire également dans des pochettes en cuir.

4. Immédiatement après avoir donné la cartouchière renfermant les explosifs, le préposé à la distribution doit, lorsqu'il s'agit d'explosifs brisants (§ 131, 2<sup>e</sup> alinéa), porter au livre de sortie, les indications prescrites par le § 165.

§ 167. — *Transport au lieu d'emploi. Coffre à explosifs.*

1. L'ouvrier recevant des explosifs portera lui-même sa cartouchière jusqu'au lieu d'emploi et ne l'ouvrira que lorsqu'il y sera arrivé. Il remettra la cartouchière et la clef au chef d'équipe, dans le cas (§ 163, 3<sup>e</sup> alinéa) où celui-ci ne les a pas reçues lui-même.

2. Le chef d'équipe déposera les explosifs et les moyens d'amorçage, séparés les uns des autres, laissés dans les cartouchières, dans un coffre spécial fermant à clef et fourni par le propriétaire de la

mine ; il les y enfermera. Ce coffre sera placé à une certaine distance du front de travail, en un point sûr à désigner par le surveillant. Le chef d'équipe ne peut ouvrir les coffres que pour en retirer les explosifs nécessaires pour les travaux de son équipe; il en conservera toujours la clef sur lui.

§ 168. — *Inspection des coffres à explosifs.*

Les surveillants de chantiers ou leurs délégués (§ 220, 2<sup>e</sup> alinéa), prendront soin que les coffres à explosifs soient toujours dans un état irréprochable et soient fermés à clef, conformément au § 167. Ils s'en assureront par des visites périodiques, intérieures et extérieures; ils s'assureront également que ces coffres ne renferment pas d'explosifs en dehors du poste de travail.

§ 169. — *Restitution des explosifs non utilisés.*

1. Le chef d'équipe remettra, aussitôt après la fin du poste de travail, dans la cartouchière servant au transport, les explosifs non utilisés par son équipe; pendant le poste; il fermera la cartouchière, la remettra à celui de qui il l'a reçue, ou bien la rapportera au magasin intermédiaire (§ 154) et la remettra, avec la clef, au préposé à la distribution des explosifs.

2. S'il n'y a que de la poudre en trop, la cartouchière et la clef peuvent être rapportées au lieu de distribution par un abatteur de confiance, au lieu de l'être par le chef d'équipe.

§ 170. — *Dispositions spéciales, dans le cas où les équipes se renouvellent sur place.*

Lorsque les équipes se renouvellent sur place, il est permis de déroger de la façon suivante aux prescriptions précédentes :

1. Le surveillant de chantier (§ 255) fixe au distributeur, conformément au § 164, la quantité d'explosifs qu'il prévoit devoir être nécessaire pour les équipes qui se succéderont pendant 24 heures dans le chantier.

2. La quantité fixée conformément au 1<sup>o</sup> sera remise (§ 163) au chef d'équipe (pour les explosifs brisants), ou à l'abatteur (pour la poudre) du premier poste de la journée, dans une cartouchière commune à toutes les équipes du chantier ; on lui en remettra aussi la clef, conformément au § 166.

3. Si l'on procède suivant les indications du 1<sup>o</sup> et du 2<sup>o</sup>, l'inscrip-

tion faite au livre de sortie, conformément au § 165, mentionnera que les équipes se renouvellent sur place.

4. Le chef de la première équipe conservera les explosifs dans le coffret à explosifs (§ 167); au renouvellement d'équipe, il remettra en mains propres du chef de la deuxième équipe, les explosifs non utilisés, enfermés dans le coffre et dans la cartouchière, ainsi que les deux clefs. C'est alors au chef de la deuxième équipe qu'incombe la garde des explosifs, conformément au § 167, et il procédera de même pour la troisième équipe. Il en sera de même, si pendant ces 24 heures, une nouvelle équipe venait encore renouveler sur place la précédente.

5. Le chef de la dernière équipe de la journée rapportera au lieu de distribution, dans la cartouchière les explosifs non utilisés pendant la journée (§ 169).

§ 171. — *Explosifs à base de nitroglycérine, commençant à exsuder.*

1. Les explosifs à base de nitroglycérine qui commencent à exsuder (ce qui se reconnaît à l'odeur piquante et au dégagement de vapeurs rouges-brunes) ne peuvent pas être distribués.

2. Ils seront renseignés par les préposés à la distribution, comme inutilisables, au livre de sortie tenu en vertu du § 143; on y indiquera exactement leur nature et leur quantité; les préposés à la distribution aviseront le directeur des travaux, qui donnera des instructions relatives à la manière de les détruire

§ 172. — *Ouverture des récipients (caisses) d'explosifs.*

1. L'ouverture des récipients dans lesquels sont fournis les explosifs, ne peut se faire dans la chambre de dépôt (§ 145).

2. Il est interdit d'employer des outils en fer pour l'ouverture des récipients contenant de la poudre.

3. Les récipients vides, les emballages, les morceaux de bois ou de papier doivent être éloignés des dépôts.

§ 173. — *Interdiction d'emporter des explosifs.*

Il est interdit d'emporter hors de la mine des explosifs ou dispositifs d'amorçage.

CHAPITRE V. — **Emploi des explosifs.**

§ 174. — *Surveillance du minage par les chefs d'équipe.*

1. Le chef d'équipe doit surveiller si les prescriptions relatives au minage sont observées par les ouvriers de son équipe.
2. Les ouvriers de l'équipe sont obligés d'obéir à la lettre aux ordres du chef d'équipe.

§ 175. — *Personnes qui peuvent prendre des explosifs  
- au coffre d'explosifs.*

Le chef d'équipe seul peut prendre des explosifs au coffre d'explosifs, à moins que cette mission ne soit confiée à une personne (boute-feu) indépendante de l'entreprise.

§ 176. — *Maniement des cartouches.*

Les cartouches ne peuvent être portées des coffres à explosifs, jusqu'au front du travail, dans la même main qu'une lampe allumée.

§ 177. — *Chargement des trous de mine.*

Les cartouches seront introduites prudemment dans les trous de mine, en employant un bourroir en bois et une épinglette en cuivre.

§ 178. — *Bourrage du trou de mine. Nature des bourrages.*

1. Les trous de mine seront bourrés jusqu'à l'orifice du fourneau. Comme bourrage on emploiera, ou bien des pierres tendres qui ne donnent pas d'étincelles, ou bien des boules d'argile; pour les explosifs brisants, on pourra employer l'eau ou le sable, mais en aucun cas, du charbon menu ou des matières charbonneuses.

2. Il est interdit de faire sauter des mines qui ne sont pas complètement bourrées, ou des cartouches non introduites dans des fourneaux de mine.

3. Les surveillants de chantier procureront à chaque atelier où l'on mine, une quantité suffisante de bourrage exempt de charbon; ils seront responsables à ce sujet.

§ 179. — *Emploi de la mèche de sûreté.*

Le chef d'équipe doit s'assurer, avant d'employer des mèches de

sûreté, de leur bonne qualité; il restituera au dépôt de distribution les mèches endommagées (humides ou cassées).

§ 180. — *Mesures de sûreté avant la mise à feu des mines.*

1. Les personnes se trouvant dans le voisinage d'une ou de plusieurs mines qu'on va faire sauter, seront avisées à temps de ce fait par le cri « il brûle ».

2. Le chef d'équipe disposera son personnel dans toutes les voies donnant accès au point où l'on va miner, de façon à empêcher les tierces personnes d'arriver à proximité de ce point. Si le personnel ne suffit pas à garder toutes les voies d'accès, ou si le point où l'on mine n'est travaillé que par une seule personne, on interdira l'accès à ce point en suspendant des croix en des points où elles seront certainement vues, et où elles ne seront pas enlevées par les coups de mine.

3. Si la voie où l'on travaille doit trouer à une autre (piliers, voies, etc.), le chef d'équipe donnera, avant de tirer un ou plusieurs coups de mine, des indications suffisamment précises au personnel des autres voies, pour qu'il ne puisse subsister aucun doute sur le commencement et la fin du tir.

§ 181. — *Mesures de précaution contre les projections.*

Là où la disposition des travaux n'assure pas entièrement la sécurité des ouvriers contre toute projection résultant du tir de mines, on prendra des mesures spéciales de précaution.

§ 182. — *Tir simultané de plusieurs mines. Amorçage électrique.*

1. Les mines chargées simultanément dans un ouvrage, doivent être tirées simultanément.

2. Lorsqu'on emploie l'amorçage électrique, les connexions des fils à la machine seront établies immédiatement avant le tir; elles seront interrompues immédiatement après.

§ 183. — *Accès aux ouvrages que l'on vient de miner. Ratés.*

1. Il est interdit de pénétrer dans un ouvrage où l'on vient de miner, avant que le chef d'équipe ne se soit assuré qu'il y passe un volume d'air suffisant pour que le travail puisse continuer sans danger.

2. Il est interdit de pénétrer dans un ouvrage où il s'est produit un raté, où l'explosif a brûlé dans le fourneau de mine, ou bien où l'on tire plus de trois mines à la fois, si ce n'est au moins 10 minutes après l'amorçage et après que le chef d'équipe s'est assuré que la chose pouvait se faire sans danger.

§ 184. — *Vidage de trous de mine. Débouillage*

1. Il est interdit de vider les mines ratées, ainsi que de prolonger les culasses restant de trous de mine.

2. L'enlèvement du bourrage n'est permis qu'au chef d'équipe, au boute-feu (§ 186, 3) ou à l'un de leurs supérieurs hiérarchiques. Cet enlèvement ne pourra se faire qu'au moyen de grattoirs en laiton mou, ou en cuivre, ou d'outils spéciaux expressément agréés par l'Inspecteur général des mines.

§ 185. — *Visite de l'ouvrage à la fin du poste.*

Avant de quitter le front de l'ouvrage, à la fin du poste, le chef d'équipe doit s'assurer de l'effet des mines tirées; il doit aussi faire en sorte que les ratés ne puissent nuire; ou bien, il doit renseigner d'une façon précise le chef de l'équipe suivante sur la position et la nature de ces ratés.

§ 186. — *Mesures spéciales pour le minage par explosifs brisants.*

Lorsqu'on mine au moyen d'explosifs brisants (§ 131, 2<sup>e</sup> alinéa), outre les §§ 174 à 185, on observera les mesures suivantes :

1. Les cartouches d'explosifs à base de nitroglycérine seront protégées contre la gelée. Les cartouches gelées seront complètement dégelées avant leur emploi, par un réchauffage prudent; cette opération ne se fera jamais en exposant les cartouches à une flamme, en les mettant à proximité d'un feu ouvert, de poêles ou de foyers, de chaudières à vapeur ou d'installations de chauffage à la vapeur, en général, de points assez chauds pour qu'on ne puisse y tenir la main.

2. Le chef d'équipe peut seul remanier une cartouche d'explosif brisant.

3. La mise en place de la cartouche explosible (avec détonateur) ne peut être effectuée que par le chef d'équipe, à moins qu'elle ne soit confiée à une personne (boute-feu) indépendante de l'entreprise.

4. Le chargement des fourneaux de mine au moyen d'explosifs brisants (§ 131, 2<sup>e</sup> alinéa), ne peut être fait que par le boute-feu ou le

chef d'équipe ; le bourrage et le tirage seront également effectués par eux, ou bien par des abatteurs qu'ils en auront expressément chargés, et sous leur surveillance continue.

5. Lorsqu'on emploie des explosifs brisants, on ne peut préparer la cartouche, en y introduisant l'amorce avec mèche ou le détonateur, qu'immédiatement avant de l'utiliser.

§ 187. — *Mesures spéciales relatives au minage à la poudre.*

Dans le minage à la poudre, outre les §§ 174 à 186, on observera encore les mesures suivantes :

1. La poudre ne peut être utilisée que sous forme de cartouches ; l'enveloppe des cartouches sera fait en papier bien collé, ou en toute autre matière ne brûlant pas lentement.

2. S'il est nécessaire de modifier une cartouche, on le fera avec précaution, en se tenant à une certaine distance de la provision d'explosifs, ainsi que des autres ouvriers de l'équipe ; pour cette besogne, on suspendra la lampe, qui devra avoir une flamme tranquille.

3. Il est interdit d'employer des épinglettes en fer, ainsi que du papier huilé ou des « ratchettes » (long cornet de papier rempli de poudre, analogue au fétu), à la place de mèches souffrées.

CHAPITRE IV. — **Minage dans les mines à grisou.**

§ 188. — *Points où il est interdit de miner.*

1. Dans toutes les mines à grisou, le minage est interdit dans les points où l'on peut déceler du grisou à la lampe de sûreté, à moins qu'il ne soit complètement interdit par l'Administration des mines.

2. Cette interdiction s'étend à tous les ouvrages travaillés qui sont en relation étroite avec des ouvrages non exempts de grisou, ou dont le courant d'air a passé, ou repassera, ne fût-ce qu'en partie, sur de tels ouvrages non exempts de grisou.

3. Cette interdiction restera en vigueur jusqu'à ce qu'on ait fait les travaux nécessaires pour écarter le grisou et jusqu'à ce que le directeur des travaux ait établi que l'ouvrage en question, ou ceux qui lui sont connexes, comme il a été dit plus haut, sont complètement indemnes de grisou.

4. Si le minage est interdit dans les travaux souterrains ou dans une partie de ceux-ci, le surveillant compétent doit faire immédiate-

ment reporter au dépôt de distribution tous les explosifs, et il doit faire enlever tous les outils de minage.

§ 189. — *Limitation du minage en cas de formation de poussières de charbon.*

1. Dans les couches où il se forme des poussières ténues et sèches de charbon, même en l'absence de grisou, on ne pourra miner que si l'on a rendu les poussières de charbon inoffensives en les humectant complètement sur une distance d'au moins 10 mètres du fourneau de mine.

2. Il est interdit dans ce cas d'employer la poudre noire ou les autres explosifs à action lente; de même, l'emploi de dynamite-guhr, dynamite-explosive et gélatine-dynamite n'est permis que si l'on emploie des cartouches de sûreté (cartouches à l'eau).

§ 190. — *Limitation du minage dans les régions vierges.*

Dans les travaux préparatoires, là où du charbon se présente dans la section de la voie, même en l'absence de grisou ou de poussières de charbon, le minage sera soumis aux prescriptions du § 189, 2<sup>e</sup> alinéa.

§ 191. — *Inspection du front de taille avant le minage. Tirage simultané de plusieurs mines.*

1. Immédiatement avant le tirage de chaque mine, on s'assurera, par une inspection soigneuse de la flamme de la lampe, qu'il n'existe pas d'accumulation de grisou dans un rayon de 10 mètres autour du fourneau de mine.

2. Le bourrage et le tirage simultanés de plusieurs mines, dans les chantiers où la présence de grisou a été reconnue ou est à prévoir, ou qui contiennent des poussières sèches et ténues de charbon, ne pourront être pratiqués qu'au moyen de l'amorçage électrique.

CHAPITRE VII. — **Minage dans les mines contenant des poussières de charbon facilement inflammables.**

§ 192.

L'inspecteur général des mines a le droit d'étendre aux mines contenant des poussières de charbon facilement inflammables, sans être grisouteuses, ou à des parties de celles-ci, les dispositions des §§ 107, 189 et 191, 2<sup>m</sup>e alinéa.

## TITRE VIII

**TRAVAUX D'ABATAGE ET D'EXTRACTION.****§ 193. — *Travaux de découverte dans les travaux à ciel ouvert.  
Dimensions des gradins.***

1. Dans les travaux à ciel ouvert, la matière utile ne peut être extraite qu'après enlèvement des terrains de recouvrement.

2. On donnera au terrain de recouvrement, un talus dépendant de sa solidité et de sa fermeté. La hauteur des gradins ne dépassera pas 6 mètres, pour les travaux de découverte, 10 mètres pour des travaux d'exploitation; leur largeur ne sera pas inférieure à 3 mètres. Il est cependant permis d'enlever les terrains de recouvrement et la matière utile par des gradins plus élevés, si l'on adopte pour les talus des angles inférieurs à 55° pour le recouvrement et 65° pour la matière utile.

**§ 194 — *Inspection des gradins des exploitations à ciel ouvert pendant les intervalles de repos.***

Le travail à proximité des gradins, dans une exploitation à ciel ouvert, ne peut être repris au commencement d'un poste de travail ou après un repos, que si un surveillant (§ 253) ou un ouvrier qu'il a chargé de cette besogne s'est assuré de l'absence de blocs détachés menaçants, spécialement par suite de gélivures; éventuellement, ces blocs seront enlevés avant la reprise du travail, sous la surveillance d'une des personnes citées plus haut.

**§ 195. — *Havage. Sous-cavage.***

1. Dans les travaux d'abatage et d'extraction, à la surface et au fond, il est interdit de haver (sous-caver) des masses fendillées, libres ou gelées. On empêchera la chute prématurée des gradins sous-cavés, en y laissant de petits stots, ou bien en les soutenant par des bois. Si ces dispositions ne suffisent pas, on prendra d'autres mesures de sûreté, en suivant les indications des ingénieurs des mines.

2. En cas de chute de neige importante ou de gelée, on suspendra les travaux de havage dans les exploitations à ciel-ouvert, et l'on fera en sorte d'abattre le plus rapidement possible les masses déjà havées.

§ 196. — *Travaux spécialement dangereux (déboisage, foudroyage).*

1. Les travaux spécialement dangereux, comme le déboisage dans les mines de houille, ne peuvent être entrepris que sous la conduite d'un surveillant (§ 253) expérimenté.

2. Dans les mines de lignite, le foudroyage ne pourra également être pratiqué que par un abatteur expérimenté spécialement désigné pour cette besogne.

3. Il est interdit formellement de pénétrer dans des travaux déboisés; ils seront séparés des autres travaux souterrains de façon que leur éboulement ultérieur ne soit pas une cause de danger pour les ouvriers travaillant à proximité.

(A suivre.)

---

**Projet de loi concernant l'acquisition  
par l'État de propriétés minières dans le bassin  
houiller de Westphalie.**

[33338 (4356)]

---

La découverte de gisements houillers à grande profondeur dans notre province de Limbourg, et certaines des idées émises à ce sujet, relatives à l'exploitation par l'État, tout au moins d'une partie de ces gisements, donnent un double intérêt au projet du Gouvernement allemand d'agrandir son domaine minier, par l'acquisition de concessions houillères dans le Nord de la Westphalie, entre l'Emscher et la Lippe, et même au Nord de cette dernière rivière.

Il est à remarquer que, pour une partie au moins des concessions dont il s'agit, la profondeur est très considérable, le terrain houiller ayant été atteint sous des épaisseurs de 650 à 850 mètres de morts-terrains.

L'importance de la question et l'intérêt qu'elle présente à divers points de vue nous engageant à reproduire dans nos *Annales*, le *Projet de loi* ainsi que son *Exposé des motifs*.

Nous y joignons une réduction de la carte donnée par le *Gluckauf*, dans sa livraison du 22 février dernier, et indiquant la situation des concessions.

---



## PROJET DE LOI.

NOUS, GUILLAUME, par la grâce de Dieu, roi de Prusse, etc., ordonnons, avec l'assentiment des deux Chambres du Landtag de notre monarchie, ce qui suit :

ARTICLE PREMIER. Une somme de 58 millions de marks est mise à la disposition du Gouvernement afin d'acquérir :

1° Une concession de 24 mesures minières, située dans les arrondissements de Recklinghausen et de Luddinghausen, offerte par les héritiers Vohwinkel :

2° La mine de houille de Waltrop, à Waltrop ;

3° Toutes les parts de propriété (*Kuxe*) des sociétés de « Gladbeek », « Bergmannsglück », Gute « Hoffnung » et Berlin » ;

4° La concession de houille de Potsdam, appartenant à la Société « Deutscher Kaiser », de Hamborn, ainsi que les droits et prétentions à une concession de houille résultant pour la même société de sondages situés entre les concessions de Potsdam et de Berlin.

Dans la somme susdite sont compris les frais accessoires entraînés par cet achat, les dépenses de premier établissement et de mise en exploitation des mines jusqu'au 31 mars 1903.

ART. 2. Le Gouvernement est autorisé à émettre des obligations pour le montant de la somme indiquée à l'article 1<sup>er</sup>.

Le Ministre des finances déterminera la date, le taux de l'intérêt et les autres conditions de l'émission des obligations. En ce qui concerne la gestion et l'amortissement de cet emprunt, les prescriptions des lois du 19 décembre 1869 et du 8 mars 1897 sont applicables.

ART. 3. Le Ministre des finances et le Ministre du commerce et de l'industrie, sans préjudice de l'article 2, 2°, sont chargés de l'exécution de la présente loi.

ART. 4. La présente loi entrera en vigueur le jour de sa promulgation.

---

EXPOSÉ DES MOTIFS

Les mines de houille que possède actuellement l'État prussien sont situées en grande partie à proximité des frontières Est et Ouest du pays, dans la Haute-Silésie et sur la Saar, tandis que les propriétés minières du fisc à l'intérieur sont proportionnellement sans importance ; ce sont celles d'Ibbenbüren, de Bersinghausen, sur le Deister, et d'Obernkirchen (cette dernière en communauté avec le prince de Schaumburg-Lippe).

Dans le bassin westphalien proprement dit, c'est-à-dire entre la Ruhr et la Lippe, il n'y a pas jusqu'ici de mines fiscales.

L'administration des chemins de fer de l'État prussien a consommé en 1900, 5,554,618 tonnes de houille, se répartissant comme suit :

Haute-Silésie . . .	2,191,972
Basse-Silésie . . .	177,041
Saarbrück . . .	350,017
Aix-la-Chapelle . . .	128,220
Westphalie . . .	2,694,820

On voit par ces chiffres de quelle importance est le charbon de la Ruhr pour l'exploitation des chemins de fer de l'État. La plus grande partie de cette énorme consommation est fournie actuellement par le syndicat des charbonnages rhéno-westphaliens. Il est à peine nécessaire de rappeler à quelles difficultés s'est heurtée, en 1900 et 1901, l'administration des chemins de fer pour se procurer du charbon ; elle s'est vue obligée de faire aux mines de l'État, dans la Silésie et à Saarbrück, un appel dépassant fortement toutes les prévisions.

Il serait donc du plus grand intérêt, pour l'administration des mines fiscales comme pour celle des chemins de fer, que cette dernière pût se procurer, au moins en partie, à des mines de l'État, l'appoint indispensable en charbons westphaliens.

D'autres arguments encore militent en faveur de l'acquisition de mines par l'État en Westphalie. Les grandes entreprises industrielles ont une tendance de plus en plus marquée et justifiée par l'expérience de ces dernières années, à s'affranchir, en ce qui concerne leur consommation de combustibles, des entraves qui peuvent résulter, pour leur exercice, de l'état du marché.

Le fisc, en qualité de principal consommateur, a aussi le droit de s'assurer la même indépendance, afin de se mettre en état de maintenir, même en cas de pénurie de charbon, le trafic des chemins de fer et de fournir à l'Empire, en partie du moins, le combustible nécessaire à la flotte allemande.

Propriétaire et exploitant de mines en Westphalie, le fisc serait à même d'exercer une certaine influence sur les cours des charbons, ce qui serait profitable à la généralité et à l'État lui-même en tant que consommateur.

Enfin, le Sud de l'Allemagne consomme aussi des charbons de la Ruhr, que les mines fiscales de Saarbrück pourraient aisément se charger de fournir à leur clientèle, non sans en tirer un certain profit.

Telles sont les considérations qui portent à examiner de près la question posée depuis plusieurs années de l'acquisition de charbonnages par l'État en Westphalie.

En poursuivant ce projet, le Gouvernement n'a pas l'intention d'accaparer l'industrie minière en Westphalie ou de restreindre le champ de l'activité privée ; cependant il ne faut pas perdre de vue que l'importance des propriétés à acquérir doit être proportionnée au but à atteindre.

Pour se rendre propriétaire de mines, il y a trois moyens :

1<sup>o</sup> Procéder à des sondages dans un domaine entièrement franc et faire valoir les droits d'inventeur ;

2<sup>o</sup> Acquérir des terrains concédés, non encore mis en exploitation, ou des terrains reconnus concessibles par des sondages ;

3<sup>o</sup> Acquérir des mines en pleine exploitation.

Le premier mode paraît à première vue le plus naturel et le moins coûteux ; dans le cas présent, il n'est malheureusement pas pratique, tout le territoire sous lequel le terrain houiller se trouve à moins de 1,000 mètres de profondeur est déjà circonscrit par un réseau de sondages ou a fait l'objet de demandes de concessions ayant droit de priorité, de sorte que l'appât est maigre pour de nouvelles recherches.

Le dernier moyen est sans conteste celui qui conduit le plus rapidement au but, mais aussi le plus cher.

L'enfoncement d'un puits n'est jamais exempt de chances d'insuccès ; on paiera donc pour un gisement déjà recoupé par des puits, par suite de la certitude acquise, un prix bien plus élevé que pour un gisement auquel on n'a pas encore accès. Le prix s'accroîtra dans la mesure où des travers-bancs ou d'autres travaux de reconnaissance auront démontré que les circonstances sont favorables à une exploitation économique. Ajoutez à cela que les bénéfices réalisés dans ces dernières années ont donné aux charbonnages en activité une valeur extrêmement élevée et qui se maintient encore relativement malgré le changement survenu dans la situation industrielle. On peut l'attribuer à la confiance qu'inspire le Syndicat des charbons et au pouvoir qu'on lui prête d'aider ses membres à traverser la crise et de contribuer efficacement à ramener des temps meilleurs pour l'industrie houillère. Bien qu'on ne puisse s'attendre d'ici à plusieurs années à des dividendes de 13 à 30 0/0, comme plusieurs sociétés en ont distribué en 1899 et 1900, cependant le cours des valeurs minières se maintient assez haut, grâce à l'espoir que l'on conserve de voir reparaître, fût-ce même tardivement, ces gros revenus.

Ces considérations font paraître plus rationnelle l'acquisition de terrains concédés non encore mis en exploitation.

Le fisc a entamé des négociations par personne interposée au sujet des domaines suivants (*voir* la carte ci-jointe) :

1° Les héritiers Vohwinkel ont offert un domaine de 40 mesures normales (218 hectares 90 ares, § 27 de la loi générale sur les mines de 1865) dont une partie est concédée et le droit à la concession du restant est acquis par suite de découvertes.

Ce domaine est situé sur le bord septentrional des concessions accordées jusqu'ici. La puissance des morts-terrains y est de 650 à 850 mètres. On peut admettre avec une quasi-certitude l'existence de toutes les couches des divers étages de la formation westphalienne ; jusqu'à la profondeur de 1,500 mètres, on rencontrerait d'abord les charbons flambants, puis les charbons à gaz et une partie des charbons à coke. Les couches sont plissées en selles et fonds de bateau et insuffisamment reconnues pour permettre d'évaluer la réserve de charbon qu'elles renferment. On peut s'en faire une idée approchée en admettant que l'on trouve suivant une même verticale :

le faisceau des houilles à longues flammes. . . . .	32 <sup>m</sup> 80
Id. des houilles à gaz . . . . .	10 <sup>m</sup> 61
la moitié du faisceau des houilles grasses . . . . .	11 <sup>m</sup> 59
	<hr/>
Total.	55 <sup>m</sup> 00

Pour tenir compte de ce qu'une partie du domaine se présente dans des conditions peu favorables, réduisons de 2,189,000 à 2,000,000 de mètres carrés la

surface d'une mesure normale ; chacune de celles-ci renfermera 110 millions de tonnes de charbon, chiffre qu'il convient de réduire à 80 millions en prévision des failles, piliers et des pertes dans l'exploitation. Les 40 mesures renfermeraient donc une richesse en charbon de 3,200 millions de tonnes ;

2<sup>o</sup> Il est offert en outre par les héritiers Vohwinkel, un groupe de 12 mesures minières à l'Est du précédent, désigné sous le nom de *Friedrich*, et dont la contenance peut être évaluée d'après la même méthode que précédemment. La mise en exploitation de ces 52 mesures exigerait, eu égard à l'épaisseur considérable des morts-terrains, l'établissement de 12 sièges d'extraction ; ceux-ci ne seraient pas installés simultanément mais successivement ; chacun d'eux exigera dix à douze ans pour son plein développement, et six ou sept ans avant de commencer à rétribuer le capital immobilisé. Les quantités de houille contenues dans ces premiers domaines doivent donc être considérées surtout comme une réserve pour l'avenir.

3<sup>o</sup> On offre de vendre également la concession de Waltrop, située au Sud des précédentes et comprenant 8 1/2 mesures. L'épaisseur des morts-terrains n'est que 400 à 500 mètres, et l'on peut admettre qu'il suffira de descendre à la profondeur de 1,300 mètres pour trouver les 80 millions de tonnes par mesure normale évaluées comme ci-dessus.

La mine de Waltrop pourrait être exploitée par deux sièges, qui commenceraient à extraire avec profit dans cinq ans et seraient en pleine production dans une dizaine d'années.

4<sup>o</sup> En vue de faire rapporter au plus tôt un intérêt, même modeste, aux capitaux que demandera la création par l'État, d'une exploitation minière, il convient d'acquiescer, outre les domaines 1 à 3, un charbonnage dont les installations soient terminées ou à peu près. Dans ce but, des négociations ont été ouvertes au sujet des mines de « Gladbeck » et « Minister Achenbach ». Cette dernière a été enlevée par la firme Stumm.

Reste donc offert le charbonnage de Gladbeck, comprenant une concession de 13 mesures normales, avec les concessions immédiatement voisines de *Bergmansglück* (9 mesures), *Gute Hoffnung* (5 mesures), *Berlin* (6 mesures) et *Potsdam* (1 mesure) et en outre les droits, résultant des découvertes de deux sondages, à la concession d'un terrain compris entre les concessions prénommées.

Dans la concession de Gladbeck se présente une selle qui se relève assez haut pour que l'on trouve au milieu du champ d'exploitation les charbons gras à peu de distance des couches inférieures de charbon à gaz, tandis que dans le Sud celles-ci sont surmontées par les charbons à longue flamme.

La pente des couches du terrain houiller est généralement faible ; sur le versant Sud de la selle, la stratification est même presque horizontale. Des résultats acquis dans les mines voisines, on déduit que Gladbeck renferme jusqu'à la profondeur de 1,000 mètres, une provision de charbon de 243 millions de tonnes.

Deux sièges d'extraction ont été installés ; les quatre puits sont creusés jusqu'au terrain houiller. A chaque siège, l'un des puits est installé pour deux machines d'extraction ; l'autre est destiné provisoirement à l'aérage ; ses dimensions permettront de le faire servir plus tard à l'extraction. On a creusé les accrochages et les galeries de contour, ainsi qu'une chambre pour la machine d'épuisement souterraine. Partant des puits, on a creusé respectivement 250 et 550 mètres de travers-bancs qui ont pleinement confirmé les hypothèses faites au sujet du gisement.

Les installations de la surface, en partie achevée, en partie en construction, répondent aux progrès techniques les plus récents.

Aux puits nos I et II, le chassis à molettes et les bâtiments pour deux machines d'extraction sont construits, une des machines fait actuellement le service. Le triage est installé immédiatement près du puits et en construction.

La salle des machines comprendra : deux compresseurs de 600 mètres cubes, dont un actuellement en marche; une station centrale d'électricité et un transport de force de 3,000 chevaux pour l'épuisement, le triage, les ateliers et l'éclairage.

Les bâtiments des magasins, des ateliers et de la condensation centrale sont à peu près terminés. Le lavoir à douches pour 2,000 ouvriers est déjà en usage. Le nombre des chaudières à vapeur correspond aux besoins actuels et l'on a réservé suffisamment de place pour l'augmenter. L'aéragé est assuré par un ventilateur muni d'une machine de réserve. En outre, la mine possède une briqueterie pouvant fournir annuellement 5 millions de briques, un raccordement à la gare de Bottrop, et dans celle-ci des voies de garage et de formation.

On a prévu aussi l'établissement d'un lavoir et de fours à coke.

Les installations des puits n° III et IV sont semblables à celles du siège I et II, à l'exception de la station centrale d'électricité, qui suffira pour les deux sièges.

Sept maisons d'employés et soixante-neuf maisons d'ouvriers, chacune pour quatre ménages, forment le noyau de trois colonies ouvrières qui pourront occuper 300 hectares de terrain.

La concession de *Bergmannsglück* est limitrophe des charbonnages *Schlägel und Eisen* et *Hugo*, et à en juger par les résultats de ces derniers, c'est une des plus riches de tout le district de Dortmund. Il conviendra d'y installer, à bref délai, un siège d'extraction pour la mettre à fruit.

L'exploitation des concessions de *Gute Hoffnung*, *Berlin* et *Potsdam* serait réservée pour l'avenir.

Les concessions ci-dessus énumérées, situées dans l'arrondissement de Recklinghausen, constituent un domaine minier de 96 mesures normales, supérieur à celui des plus importantes sociétés de la Westphalie (1).

Si l'Etat accepte les offres de vente qui lui sont faites, les concessions énumérées aux 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> et celle de Potsdam du 4<sup>o</sup> deviendront immédiatement sa propriété. En ce qui concerne les autres, il est plus simple et plus rapide, au lieu d'acheter les mines mêmes, d'acquérir les titres des sociétés propriétaires. Dans ce but des négociations ont été ouvertes avec le principal intéressé qui s'est engagé à livrer au fisc toutes les parts (*kuxe*) alors en sa possession (c'est-à-dire, 979 *kuxen* de Gladbeck, 890 de Bergmannsglück, 831 de Gute Hoffnung et 656 de Berlin). En outre, il a entrepris d'acquérir le restant des *kuxe* en vue de les remettre au fisc, autant que possible pour le 1<sup>er</sup> avril de cette année.

Il n'y a aucune raison de douter qu'il ne réussisse à tenir ses engagements. Au reste, il n'y aurait aucun inconvénient à ce que le fisc ne soit provisoirement que sociétaire dans l'entreprise.

Un capital de 58 millions est nécessaire pour l'acquisition des propriétés et pour couvrir les frais d'installation et d'exploitation jusqu'au 31 mars 1903.

(1) 21,014 hectares 40 ares. La Société de Gelsenkirchen possède 80 mesures normales, celle de Harpen 60, Hibernia 30, König Ludwig 17.

## RÉGLEMENTATION DES MINES, ETC., A L'ÉTRANGER 609

Il se décompose comme suit :

Achat des domaines Vohwinkel . . . . .	11,960,000 00 marks.
Achat de la mine Waltrop . . . . .	3,075,000 00 —
Achat des <i>kuxe</i> de Gladbeck, Bergmannsglück, Gute Hoffnung et Berlin, de la concession de Potsdam et des droits acquis par deux sondages entre les terrains précédents . . .	36,677,892 09 —
Installation est mise en exploitation jusqu'au 31 mars 1903, des mines de Gladbeck, Berg- mannsglück et Waltrop . . . . .	6,016,735 99 —
Frais accessoires (intermédiaires, timbres, . actes notariés, etc.) . . . . .	270,371 92 —
	58,000,000 00 marks.

Quant à la question de rémunération de ce capital, il faut remarquer d'abord que les concessions du Nord, ainsi que celles de Gute-Hoffnung, Berlin et Potsdam, constituant une réserve pour l'avenir, il suffira de prévoir pour les sommes qui y seront consacrées, un intérêt de 3 1/2 %, taux actuel des emprunts d'Etat.

Pour faire fructifier la somme restante, qui s'élève à 32,302,467 marks, il est nécessaire d'achever l'installation des deux fosses de Gladbeck, d'entreprendre immédiatement le creusement de puits à Waltrop et à Bergmannsglück. Le premier point exigera une mise de fonds de 2 1/2 millions; l'installation de chacun des deux sièges d'extraction prévus coûtera environ 9 millions, qui devront être versés pendant la période 1902-1908.

L'exposé des motifs examine ici comment seraient réparties les dépenses qui, à partir de 1903, incomberont au budget de l'administration des mines et comment se développerait jusqu'en 1915, la production des trois charbonnages projetés. Il conclut qu'en comptant sur un bénéfice de 1 mark par tonne de houille, ce qui est inférieur à la moyenne des bénéfices réalisés pendant ces douze dernières années, par les grands charbonnages westphaliens, l'exploitation se suffirait à elle-même à partir de 1908; en 1915, les trois mines produiraient ensemble 4 millions de tonnes annuellement et les bénéfices réalisés jusqu'alors compenseraient les dépenses exigées pour leur développement depuis 1902. A partir de 1915, le bénéfice annuel de 4 millions de marks constituerait un intérêt de 4.9 % du capital total engagé. Si l'on fait abstraction du prix d'achat des concessions tenues en réserve, en déduisant du bénéfice annuel de 4 millions l'intérêt à 3 1/2 % de cette somme, on trouve 5.64 % pour le revenu du capital absorbé par les trois mines mises en exploitation.

Dans ces conditions et pour des motifs d'intérêt général exposés au début, l'acquisition par l'Etat, des mines offertes, paraît opportune.

Sans doute, toute entreprise minière comporte certains risques pouvant dans

l'hypothèse la plus défavorable renverser toutes les prévisions. Cependant, l'histoire de l'industrie houillère en Westphalie montre que les grandes entreprises ont une certaine garantie de succès, en ce que les circonstances malheureuses qu'on peut rencontrer d'un côté sont compensées ailleurs par d'autres plus favorables.

Une plus forte rémunération du capital peut s'obtenir en augmentant le nombre des sièges d'extraction, ce qui, d'autre part, retardera le moment où les dépenses seront couvertes par les bénéfices.

Enfin, il faut remarquer que c'est probablement la dernière occasion favorable qui soit offerte d'acquérir en Westphalie des domaines aussi importants d'un seul complexe.

Les anciennes sociétés ont une tendance à augmenter encore leurs propriétés minières et l'on peut prévoir avec certitude que, dans le cas où l'Etat déclinerait les propositions qui lui sont faites, les concessions en question tomberont morcelées en différentes mains. Aussi, les vendeurs ont-ils refusé d'une façon absolue, de s'engager pour une date postérieure au 1<sup>er</sup> avril.

**T A B L E A U**

**-DES**

**Mines de houille en activité dans le royaume de Belgique**

**pendant l'année 1901**

[313 : 622(493)]

# Bassin du Cou

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex			
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS <i>a) en activité</i> <i>b) en construction</i> <i>ou en avaleresse</i> <i>c) en réserve</i>	* CLASSEMENT		
1 <sup>er</sup> ARRONDISSEMENT (1)	<b>Blaton,</b> à Bernissart	Blaton, Bernissart, Harchies, Ville-Pommerœul, Pommerœul, Grandglise, Stamburges, Peruwelz	Société anonyme des Charbonnages de Bernissart	Bernissart	<i>a) Puits n° 1</i> (Négresse) <i>Puits n° 3</i> (Ste-Barbe) <i>Puits n° 4</i> (Ste-Catherine) <i>b) Siège d'Harchies</i>	sg sg sg nc		
	<b>Belle-Vue,</b> à Elouges	Baisieux, Audregnies, Quiévrain, Montrœul-sur-Haine, Thulin, Elouges, Dour, Wihéries	Société anonyme des Charbonnages Unis de l'Ouest de Mons	Boussu	<i>a) Puits n° 1</i> (Ferrand) <i>Puits n° 7</i> <i>Puits n° 8</i> <i>Puits n° 4</i> (Grande-Veine) <i>c) Puits n° 12</i> <i>a) Puits n° 4</i> (Alliance) <i>Puits n° 5</i> (Sentinelle) <i>Puits n° 9</i> (St-Antoine) <i>Puits n° 10</i> (Vedette) <i>c) Puits n° 11</i>	3 3 3 3 3 2 2 2 2		
	<b>Bois de Boussu,</b> à Boussu	Boussu, Dour, Elouges						2
	<b>Longterne Tri-chères,</b> à Dour	Dour						2
	<b>Grande Machine à feu de Dour,</b> à Dour	Dour, Elouges	Société anonyme du Charbonnage de la Grande Machine à feu de Dour	Dour	<i>a) Puits n° 1</i> Puits Frédéric	2 2		
	<b>Grande Chevalière et Midi de Dour,</b> à Dour	Dour	Société anonyme des Chevalières de Dour	Dour	<i>a) Puits n° 1</i> (Ste-Catherine) <i>Puits n° 2</i> (St-Charles) <i>c) Puits n° 4</i> (Aubette)	3 3 »		
	<b>Bois de Saint Ghislain,</b> à Dour	Dour, Hornu	Société anonyme du Charbonnage du Bois de Saint-Ghislain	Dour	<i>a) Puits n° 3</i> (Trou à Dièves) <i>Puits n° 5</i> (Avaleresse) <i>Puits n° 1</i> (Sauwartan)	3 3 3		

(1) Directeur du 1<sup>er</sup> Arrondissement des Mines : M. l'Ingénieur en chef A. Marcette, à Mons.

(\*) Explication concernant le classement : nc = non classé; sg = siège sans grisou; 1 = siège à grisou de

# chant de Mons

traction	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	
Bernissart » » Harchies	LÉON PIEDANNA	Bernissart	Edmond VANQUICKENBORN	Bernissart	130,100.
Elouges Dour Elouges » Baisieux Boussu » » » Dour	Arthur DUPRE	Dour	Jules FRANCO	Dour	454,800
Dour »	Jules RAOULT	Dour	Fernand TILLIER	Dour	223,800
Dour » »	Odon LAURENT	Dour	Jean-Bapt. MERCIER	Dour	74,300
Dour	Émile MOREAU	Hornu	Ernest HAYEZ	Dour	89,200

1<sup>re</sup> catégorie ; 2 = siège à grisou de 2<sup>e</sup> catégorie ; 3 = siège à grisou de 3<sup>e</sup> catégorie.

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
1 <sup>er</sup> ARRONDISSEMENT	<b>L'Escouffiaux,</b> à Wasmes	Wasmes, Hornu, Eugies, Warquignies, Dour, Boussu	Compagnie de Charbonnages Belges	Frameries	a) Puits n° 1 (Le Sac)	3
	<b>Charbonnages Réunis de l'Agrappe,</b> à Frameries	Frameries, Flénu, La Bouverie, Pâturages, Wasmes, Quaregnon, Cuesmes, Hyon, Noir- chain, Ciplu, Genly			Puits n° 7 (St-Antoine)	3
			Puits n° 8 (Bonne-Espérance)	3		
	<b>Buisson,</b> à Wasmes	Hornu, Wasmes, Boussu	Société anonyme des Mines de Houille du Grand Buisson	Wasmes	a) Puits n° 10 (Grisœuil)	3
<b>Hornu et Wasmes,</b> à Wasmes	Hornu, Wasmes	Société anonyme du Charbonnage d'Hornu et Was- mes	Wasmes	Puits n° 3 (Grand Trait)	3	
				Puits n° 2 (La Cour)	3	
				Puits n° 7 (Crachet)	3	
				Puits n° 12 (St-Placide)	3	
				Puits n° 12 (Crachet)	3	
				Puits n° 12 (Ste-Mathilde)	3	
				Puits n° 12 (Noirchain)	3	
				Puits n° 5 (Ste-Caroline)	3	
				c) Puits n° 11 (Crachet)	»	
				(St-Ferdinand)	»	
				a) Puits n° 1 (Mach. à feu du Buisson)	2	
				Puits n° 2 (le 18)	2	
				Puits n° 3 (le 19)	2	
				a) Puits n° 3 (n° 3 des Vanneaux)	2	
				Puits n° 4 (n° 4 des Vanneaux)	1	
				Puits n° 6 (n° 6 des Vanneaux)	2	
				Puits n° 7 (n° 7 des Vanneaux)	1	

action	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES	
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS		RÉSIDENCE
Hornu Wasmes »			Georges ARNOULD	Wasmes	655,000	
Paturages Frameries » » »	Isaac ISAAC	Frameries				
Noirchain La Bouverie Frameries			Adelson ABRASSART	La Bouverie		
Hornu Wasmes »	Lucien ROHÉ	Hornu	Hector BAUGNIET	Wasmes		231,800
Wasmes Hornu Wasmes Hornu	Gédéon DELADRIÈRE	Wasmes	Léonce GHIN	Wasmes		424,300

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'e
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avalesse c) en réserve
1 <sup>er</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Grand Hornu,</b> à Hornu	St-Ghislain, Wasmuël, Hornu, Wasmes, Ter- tre, Baudour, Quare- gnon.	Société civile des Usines et Mines de Houille du Grand Hornu	Hornu	a) Puits n°7-12 (St-Louis) Puits n° 9 (Ste-Désirée)
	<b>Grand Bouillon,</b> à Paturages	Wasmes, Paturages, Eugies	Société anonyme des charbonna- ges du Borinage Central	Paturages	a) Puits n° 1 Puits n° 2
	<b>Bonne-Veine,</b> à Quaregnon	La Bouverie, Paturages, Quaregnon	Société métallur- gique de Gorcy, charbonnage du Fief de Lambre- chies.	Paturages	a) Puits Le Fief (St-Laurent)
	<b>Rieu-du-Cœur</b> à Quaregnon	Quaregnon, La Bouve- rie, Paturages, Wasmes, Jemappes, Flénu	Société anonyme des Charbonna- ges du Rieu du Cœur et de la Boule réunis.	Quaregnon	a) Puits n° 4 (Ste-Désirée ou la Boule) Puits n° 2 (Pettes d'en bas) Puits St-Placide Puits St-Félix (16 Actions) Puits St-Florent (Manche d'Appiète)
			Société anonyme du Charbonnage du Couchant du Flénu.	»	a) Puits n° 5 (Sans Calotte) Puits n° 2 (Sans Calotte)
	<b>Nord du Rieu du Cœur</b>	Quaregnon, Jemappes	Société anonyme du Charbonnage du Nord du Rieu du Cœur	Quaregnon	b) Siège du Nord
<b>Espérance</b>	Baudour, Hautrage Tertre, Villerot	Société anonyme du Charbonnage de Baudour	Baudour	b) Siège du Bois de Baudour.	

Localité	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	
Hornu »	Firmin RAINBEAUX	Paris	Edmond HALLEZ	Hornu	240,300
Paturages Wasmes	Arthur DUBAR	Paturages	Emile LEMOINE	Paturages	117,900
Quaregnon	Oscar DERCLAYE	Paturages	Joseph FILLEUL	Paturages	84,200
Quaregnon » » » »	Léon FRANÇOIS	Quaregnon	Augustin TILLIER	Quaregnon	298,800
» »	Prosper VANHASSEL	Id.	Oscar DUCOBU	Id.	146,000
Quaregnon	Arthur OLIVIER	Quaregnon	Arthur OLIVIER	Quaregnon	»
Baudour	Albéric PASSELECQ	Mons	CAMILLE RICHIR	Baudour	»

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'e
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction en en avaleresse c) en réserve
2 <sup>e</sup> ARRondissement (1)	<b>Produits, à Flénu</b>	Flénu, Quaregnon, Cuesmes, Ghlin, Mons, Frameries, Jemappes	Société anonyme des Produits	Flénu	a) n <sup>o</sup> 12 (St-Louis) n <sup>o</sup> 18 (Ste-Henriette) n <sup>o</sup> 20 n <sup>o</sup> 21 n <sup>o</sup> 23 (Ste-Félicité) { n <sup>o</sup> 25 n <sup>o</sup> 26 b) { n <sup>o</sup> 27 n <sup>o</sup> 28 c) n <sup>o</sup> 16 (St-Joseph)
	<b>Levant du Flénu, à Cuesmes</b>	Flénu, Cuesmes, Mons, Hyon, Mesvin, Ciply, Quaregnon, Jemappes	Société anonyme des Charbonnages du Levant du Flénu	Cuesmes	a) n <sup>o</sup> 4 n <sup>o</sup> 14 n <sup>o</sup> 15 n <sup>o</sup> 17 n <sup>o</sup> 19
	<b>Ghlin, à Ghlin</b>	Ghlin, Erbisœul, Jurbise, Masnuy - Saint-Jean, Nimy, Maisières.	Société anonyme des Charbonnages du Nord du Flénu	Ghlin	a) { n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2
2 <sup>e</sup> ARR.	<b>Saint-Denis, Obourg, Havré, à Havré</b>	Havré, Obourg, Saint-Denis	Société civile des Charbonnages du Bois-du-Luc	Houdeng-Aimeries	a) { n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2
	<b>Maurage et Boussoit, à Maurage</b>	Maurage, Bray, Boussoit Thieu, Strépy	Société anonyme des Charbonnages de Bray, Maurage et Boussoit	Maurage	a) { n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2 n <sup>o</sup> 3 (La Garenne)

## Bassin du

(1) Directeur du 2<sup>e</sup> arrondissement : M. l'Ingénieur en chef E. Orman, à Mons.

Action	Directeurs gérants.		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Flénu » Quaregnon Flénu » » Jemappes Flénu	Henri MATIVA	Flénu	Léon GRAVEZ	Flénu	497,800
Jemappes Cuesmes » » »	Adhémar LEROY	Cuesmes	Charles DEHARVENG	Cuesmes	521,000
Ghlin	Antoine SOHIER	Ghlin	Georges MASSART	Ghlin	126,200

## Centre

Havré	Omer DEGUELDRE	Houdeng- Aimeries	Adolphe DEMEURE	Houdeng- Aimeries	185,330
Maurage »	Albert LEMENT	Maurage	Gustave LOUTTE	Maurage	130,600

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
2 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Strépy et Thieu</b> à Strépy	Strépy, Trivières, Thieu, Ville-sur-Haine, Gottignies, Houdeng-Aimeries, Bousoit, Mau- rage	Société anonyme des Charbonnages, Hauts-Four- neaux et Usines de Strépy - Bra- quegnies	Strépy	a) n° 1 St-Alexan- dre St-Alphonse { n° 1 n° 2 St-Julien { n° 1 n° 2
	<b>Bois du Luc et Trivières réunis</b> à Houdeng-Aimeries	Houdeng-Goegnies, Houdeng-Aimeries, Tri- vières, Strépy, La Lou- vière	Société civile des Charbonnages du Bois-du-Luc	Houdeng- Aimeries	a) St-Amand St-Emmanuel Fosse du Bois St-Patrice b) Le Quesnoy : St-Paul St-Frédéric
	<b>La Louvière</b> et <b>Sars-Longchamps</b>	La Louvière, St-Vaast, Haine-St-Paul, Bois- d'Haine	Société anonyme des Charbonnages de La Lou- vière et Sars- Longchamps	La Louvière	Section de la Louvière : a) St-Léopold, } n° 7 n° 8 n° 6 Ste-Barbe n° 4 St-Hubert n° 3 Ste-Marie Section de Sars-Longchamps : } n° 5 n° 6 n° 1 (Bouvy)
	<b>Houssu</b> à Haine-Saint-Paul	Haine-St-Paul, Haine- St-Pierre, La Louvière	Société anonyme des Charbonnages de Houssu	Haine- Saint-Paul	a) n° 2 n° 6 } n° 8 n° 9
	<b>Haine-St-Pierre</b> et <b>La Hestre</b> à La Hestre	La Hestre, Morlanwelz, Haine-St-Pierre, Haine- St-Paul, Bois-d'Haine, Fayt-lez-Seneffe, La- Louvière, Péronnes	Société anonyme des Charbonnages de Haine-St- Pierre et La Hes- tre	La Hestre	a) St-Félix (Grande Fosse) St-Félix (Petite Fosse) St-A dolphe St-Alexandre
	<b>Mariemont,</b> <b>l'Olive,</b> <b>Chaud Buisson</b> et <b>Carnières,</b> à Morlanwelz	Bellecourt, Carnières, Chapelle-lez-Herlai- mont, Haine-St-Pierre, La Hestre, Mont-Ste- Aldegonde, Morlan- welz, Piéton	Société anonyme des Charbonnages de Marie- mont	Morlanwelz	a) St-Arthur Abel La Réunion Ste-Henriette St-Eloi Le Placard

Section	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITE	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Strépy » »	Amour SOTTIAUX	Strépy	Léonard GENART	Strépy	410,060
Houdeng-Aime- » [ries » Trivières » »	Omer DEGUELDRE	Houdeng-Aimeries	Adolphe DEMEURE	Houdeng-Aimeries	386,770
La Louvière » » » » » » »	Auguste SOUPART	La Louvière	Section de La Louvière : Félix JACQUES	La Louvière	353,850
Haine-St-Paul » »	Arthur DEHU	Haine-St-Paul	Marc WAROLUS	Haine-St-Paul	212,000
Haine-St-Pierre » La Hestre »	Achille THÉRASSE	La Hestre	Firmin TILMAN	Haine-St-Pierre	144,580
Morlanwelz » » » Carnières »	Lucien GUINOTTE	Morlanwelz	Joseph WULLOT	Morlanwelz	477,390

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
2 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Bascoup</b> , à Chapelle-lez- Herlaimont	Manage, Chapelle - lez Herlaimont, Godar- ville, Gouy-lez-Piéton, Trazegnies, Souvret, Forchies - la - Marche, Piéton	Société anonyme des Charbonna- ges de Bascoup	Chapelle- lez Herlaimont	a) n <sup>o</sup> 3 n <sup>o</sup> 4 Ste-Catherine n <sup>o</sup> 5 b) n <sup>o</sup> 6-7 n <sup>o</sup> 8
	<b>Charbonnages réunis de Ressaix, Leval Péronnes et Ste-Aldegonde</b> , à Ressaix	Ressaix, Péronnes, Bin- che, Waudrez, Saint- Vaast, Haine-St-Pierre Mont - Ste-Aldegonde, Morlanwelz, Leval- Trahegnies, Anderlues, Epinois, Buvrines	Société anonyme des Charbonna- ges de Ressaix, Leval, Péronnes et Ste-Aldegonde	Ressaix	a) n <sup>o</sup> 1 (Ressaix) Leval St-Albert Ste-Barbe Ste-Marie
3 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT (1)	<b>Bois de la Haye</b> , à Anderlues	Anderlues, Leval-Trahe- gnies, Epinois, Mont- Ste - Aldegonde, Pié- ton, Carnières	Société anonyme des Houillères d'Anderlues à Anderlues	Anderlues	a) n <sup>o</sup> 2 n <sup>o</sup> 3 n <sup>o</sup> 4 n <sup>o</sup> 5 c) n <sup>o</sup> 1
	<b>Beaulieusart</b> , à Fontaine- l'Évêque	Fontaine-l'Évêque, An- derlues, Leernes, Lan- delies	Société anonyme des Charbonna- ges de Fontaine- l'Évêque, à Fon- taine-l'Évêque	Fontaine- l'Évêque	a) n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2
	<b>Monceau- Fontaine et Martinet</b> à Monceau s/Sambre	Monceau s/Sambre, Pié- ton, Roux, Courcelles. Landelies, Goutroux, Souvret, Fontaine - l'Évêque, Forchies - la Marche, Trazegnies, Carnières, Chapelle- lez - Herlaimont, An- derlues, Marchienne- au-Pont, Leernes, Montigny-le-Tilleul	Société anonyme des Charbonna- ges de Monceau- Fontaine et du Martinet	Monceau- s/Sambre	a) n <sup>o</sup> 4 n <sup>o</sup> 8 } n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2 } n <sup>o</sup> 10 n <sup>o</sup> 14 n <sup>o</sup> 17 c) n <sup>o</sup> 3 n <sup>o</sup> 11 n <sup>o</sup> 16

## Bassin de

(1) Directeur du 3<sup>e</sup> Arrondissement des Mines : M. l'Ingénieur en chef J. Smeysters, à Charleroi.

traction	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Chapelle-lez-Herlaimont » » Trazegnies Piéton Chap.-Jez-Herl.	Lucien GUINOTTE	Morlanwelz	Jules DESSERT	Chapelle-lez-Herlaimont	683,470
Ressaix Leval-Trahegn. Péronnes Ressaix Péronnes	Florent PHILIPPART	Ressaix	Hector HAVAUX	Ressaix	548,490

## Charleroi

Anderlues » » » Leval-Trahe- [gnies	Auguste MÉNÉTRIER	Anderlues	Emile MICHAX	Anderlues	348,800
Fontaine-l'Évê- » [que	Alfred GROSFILS	Fontaine-l'Évêque	Emile LAGAGE	Fontaine-l'Évêque	234,800
Monceau s/Sbre Forchies-la-Mar » [che Goutroux Piéton Monceau s/Sbr » Piéton	Vital MOREAU	Monceau s/Sambre	Ernest BOURGUIGNON	Monceau s/Sambre	562,200

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
3 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Nord de Charleroi</b> à Courcelles	Courcelles, Souvret, Traze- gnies, Forchies-la- Marche, Roux	Société anonyme des Charbonna- ges du Nord de Charleroi	Roux	a) n° 2 n° 3 n° 4 n° 6 { n° 1 n° 2	1 2 sg 1
	<b>Courcelles-Nord</b> à Courcelles	Courcelles, Traze- gnies, Gouy-lez-Piéton	Société anonyme des Charbonna- ges de Courcelles- Nord	Courcelles	a) n° 1 n° 3 n° 6 n° 8	sg
	<b>Falnuée et Wartonlieu</b> à Courcelles	Courcelles, Traze- gnies, Gouy-lez-Piéton, Pont- à-Celles	Société anonyme des Charbonna- ges de Falnuée	Courcelles	a) St-Nicolas St-Hippolyte c) <i>Ste-Rosette</i> n° 5	sg »
	<b>Grand Conty et Spinois,</b> à Gosselies	Gosselies, Jumet, Vies- ville, Thiméon	Société anonyme des Charbonna- ges de Grand Conty et Spinois	Gosselies	a) Spinois	sg
	<b>Vallée du Piéton,</b> à Jumet	Jumet, Roux	Société anonyme des Charbonna- ges du Centre de Jumet	Roux	a) St-Quentin St-Louis	1 sg
	<b>Amercœur,</b> à Jumet	Jumet, Roux, Monceau s/Sambre	Société anonyme des Charbonna- ges d'Amercœur	Jumet	a) Chaumon- { n° 1 ceau { n° 2 Belle-Vue Naye à Bois	1 1 1
	<b>Bayemont et Chauw à Roc,</b> à Marchienne	Marchienne, Dampremy, Monceau s/Sambre	Société anonyme des Charbonna- ges de Bayemont	Marchienne	a) St-Charles St-Auguste St-Henri c) <i>St-Louis</i>	2 »

Localité	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	
Courcelles. » » Souvret	Emile TURLOT	Roux	Emile GERONNEZ	Courcelles	391.700
Courcelles » » »	Léopold HEUSEUX	Courcelles	Joseph GRAD	Courcelles	490.900
Courcelles » » »	Alfred BEAUMILLE	Courcelles	Charles CADET	Courcelles	88.000
Gosselies	René MOSTAERT	Gosselies	Arthur JULIEN	Gosselies	121.500
Jumet »	Alfred MAHIEU	Jumet	Jean-Louis SERVOTTE	Jumet	211.000
Jumet » Roux	François GILLIEAUX	Jumet	Amand BOISDRENGHIEN	Jumet	317.200
Marchienne » » »	Emile TONNEAU	Marchienne	Emile SPINOIT	Marchienne	174.000

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
3 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Sacré-Madame</b> , à Dampremy	Dampremy, Charleroi	Société anonyme des Charbonnages de Sacré- Madame	Dampremy	a) Blanchisserie Mécanique Piges St-Théodore c) <i>Ste-Barbe</i>
	<b>Marchienne</b> , à Marchienne	Marchienne, Mont s/Marchienne	Société anonyme des Charbonnages de Mar- chienne	Marchienne	a) Providence { <sup>no 1</sup> <sub>no 2</sub> }
	<b>Marcinelle-Nord</b> à Marcinelle	Charleroi, Couillet, Mar- cinelle, Mont s/Mar- chienne, Marchienne, Loverval, Montigny-le- Tilleul	Société anonyme de Marcinelle et Couillet	Marcinelle	a) no 4 { no 1 (Fies- no 4 taux) no 6 no 9 (Conception) no 11 no 12 c) no 4 ( <i>Bois planté</i> ) no 5 no 10 <i>Ste-Barbe</i> <i>St-Joseph</i>
	<b>Forte Taille</b> à Montigny- le-Tilleul	Montigny-le-Tilleul, Mon- ceau sur Sambre, Mar- chienne-au-Pont, Lan- delies	Société anonyme Franco-Belge du Charbonnage de Forte Taille	Montigny- le-Tilleul	a) Avenir
	<b>Bois de Cazier</b> à Marcinelle	Marcinelle	Société anonyme des Charbonnages du Bois de Cazier	Jumet	a) St-Charles

traction	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Charleroi Dampremy » » »	Philippe PASSELECQ	Dampremy	Emile GOSSERIES	Dampremy	265,000
Marchienne	Jules LABOUVERIE	Marchienne	Lucius LAURENT	Monceau s/Sbre	198,800
Couillet Marcinelle Mont s/Marchienne Marcinelle » » » Mont s/Marchienne Mont s/Marchienne	Nestor EVRARD	Marcinelle	Pierre FONTENELLE	Marcinelle	416,300
Montigny-le-Tilleul	Charles MARCHAND	Montigny-le-Tilleul	Charles MARCHAND	Montigny-le-Tilleul	26,800
Marcinelle	François GILLIEAUX	Jumet	Augustin TASSIN	Marcinelle	11,100

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
4 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT (1)	<b>Masse et Diarbois</b> , à Ransart	Ransart, Jumet, Heppignies	Société anonyme des Charbonnages de Masse-Diarbois	Ransart	a) n° 1 n° 4 b) n° 5	sg sg sg
	<b>Charleroi</b> , (Charbonnages Réunis de) à Charleroi	Charleroi, Dampremy, Montigny-sur-Sambre, Lodelinsart, Jumet	Société anonyme des Charbonnages Réunis (Mambourg)	Charleroi	a) n° 1 n° 2 (MB) n° 7 n° 12 n° 2 (SF) { extr. aér. Hamendes c) <i>Sainte-Barbe</i>	2 2 1 2 2 1 »
	<b>Charbonnages Réunis du Centre de Gilly</b> , à Gilly	Gilly, Montigny-sur-Sambre, Charleroi	Société anonyme des Houillères Unies du Bassin de Charleroi	Gilly	a) Vallées { extr. Ardinoises } aér. St-Bernard c) <i>St-Pierre</i>	2 2 »
	<b>Appaumée-Ransart, Bois du Roi et Fontenelle</b> , à Ransart	Ransart, Heppignies, Wangenies, Fleurus			a) n° 1 Appaumée n° 2 St-Charles n° 3 Marquis n° 4 St-Auguste	sg sg 1 sg
	<b>Masse Saint-François</b> , à Farciennes	Farciennes			a) St-François ou n° 1	2
	<b>Bonne-Espérance</b> , à Montigny-sur-Sambre	Montigny-sur-Sambre	Société anonyme du Charbonnage de l'Épine.	Montigny-sur-Sambre	b) <i>Ste-Zoé</i> c) <i>Combes</i>	2 »
	<b>Grand Mambourg Sablonnière</b> , Liège, à Montigny-sur-Sambre	Montigny-sur-Sambre, Charleroi	Société anonyme des Charbonnages du Grand-Mambourg Sablonnière, dite Pays de Liège.	Montigny-sur-Sambre	a) Neuville { n° 1 Résolu } n° 4	2 2

(1) Directeur du 4<sup>e</sup> Arrondissement des Mines : M. l'Ingénieur en chef C. Minsier, à Charleroi.

traction	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Ransart » Jumet	Anselme BAILLEUX	Ransart	Jean-Bapt PIETTE	Ransart	138,600
Charleroi » Lodelinsart Charleroi Lodelinsart » Jumet Charleroi	Alfred SOUPART	Mont-sur-Marchienne	Louis LEGRAND	Charleroi	611,300
Gilly » » »	Badilon CROMBOIS	Gilly	C. CRIMONT	Gilly	228,000
Ransart » Fleurus »			Paul ZOUDE Fernand POPULAIRE	Ransart Fleurus	230,600
Farciennes			Joseph VANEX	Farciennes	98,200
Montigny s/Sbre »	Maurice GÉRARD	Montigny s/Sbre	Léopold HANAPPE	Montigny s/Sbre	28,200
Montigny s/Sbre »	Eugène FRÉSON	Charleroi	Charles MARBAIS	Montigny s/Sbre	181,300

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
4 <sup>me</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Poirier</b> à Montigny-sur-Sambre	Charleroi, Montigny-sur-Sambre, Marcinelle	Société anonyme des Charbonnages du Poirier	Montigny-s/Sambre	a) St-André St-Charles c) <i>St-Louis</i>	2 2 »
	<b>Noël,</b> à Gilly	Gilly	Société anonyme des Charbonnages de Noël-Sart Culpert	Gilly	a) St-Xavier { n° 1 n° 2	2
	<b>Trieu-Kaisin</b> à Châtelineau	Châtelineau, Gilly, Montigny-sur-Sambre	Société anonyme des Charbonnages de Trieu-Kaisin	Châtelineau	a) Sébastopol n° 4 Duchère n° 6 St-Jacques n° 7 Pays-Bas n° 8 n° 10 Moulin { n° 4 n° 5 c) n° 11 ( <i>Remise</i> )	2 2 2 2 2 2 »
	<b>Boubier,</b> à Châtelet	Châtelet, Bouffioulx	Société anonyme du Charbonnage du Boubier	Châtelet	a) n° 1 n° 2	2 2
	<b>Nord de Gilly'</b> à Fleurus	Fleurus	Société anonyme des Charbonnages du Nord de Gilly	Fleurus	a) n° 1	1
	<b>Bois Communal de Fleurus</b> à Fleurus	Fleurus	Société anonyme du Charbonnage du Bois Communal	Fleurus	a) Ste-Henriette	1

Action	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Montigny s/Sbre » »	Alfred NAVEZ	Montigny s/Sbre	Adolphe BOGARRE	Montigny s/Sbre	160,000
Gilly	»	»	François GILSON	Gilly	167,050
Châtelaineau Montigny s/Sbre » Châtelaineau » Gilly » »	Joseph BIERNEAUX	Châtelaineau	Arthur ROUSSEAU Arthur SÉVRIN	Châtelaineau Gilly	484,000
Châtelet »	»	»	Jean-Charles FONTAINE	Châtelet	160,800
Fleurus	Nestor ROUSSEAU	Gilly	Valentin FRÈRE	Gilly	101,850
Fleurus	Maurice GÉRARD	Montigny-sur-Sambre	Léopold HANAPPE	Montigny s/sbre	100,400

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
4 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Gouffre</b> à Châtelineau	Châtelineau, Gilly, Pironchamps	Société anonyme des Charbonna- ges du Gouffre	Châtelineau	a) n <sup>o</sup> 3 n <sup>o</sup> 5 n <sup>o</sup> 7 n <sup>o</sup> 8
	<b>Carabinier</b> <b>Pont de Loup</b> à Pont de Loup	Châtelet et Pont de Loup	Société anonyme du Charbonnage du Carabinier	Pont de Loup	a) n <sup>o</sup> 2 n <sup>o</sup> 3 c) n <sup>o</sup> 1
	<b>Ormont,</b> à Châtelet	Châtelet, Bouffiuoux	Société anonyme du Charbonnage d'Ormont	Châtelet	a) St-Xavier { n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2 c) <i>Ste-Barbe</i>
	<b>Roton,</b> <b>Sainte-Catherine</b> à Farciennes	Farciennes	Société anonyme des Charbonna- ges réunis de Roton, Farciennes, Baullet et Oignies-Aiseau	Tamines	a) Ste-Catherine ou Mécanique Aulniats
	<b>Aiseau Oignies,</b> à Aiseau	Aiseau			a) n <sup>o</sup> 4 n <sup>o</sup> 5 St-Henri
	<b>Petit Try,</b> <b>Trois Sillons</b> <b>Sainte-Marie</b> <b>Défoncement et</b> <b>Petit Houilleur</b> réunis à Lambusart	Lambusart, Fleurus, Farciennes	Société charbon- nière du Petit- Try, Trois Sil- lons, Ste-Marie et Défoncement réunis	Lambusart	a) Ste-Marie { n <sup>o</sup> 1 n <sup>o</sup> 2

Action	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Châtelineau » »	Henry ROLAND	Châtelineau	Edmond DURAY	Châtelineau	298,750
Pont de Loup Châtelet »	Eugène LUPANT	Pont de Loup	Louis GRÉGOIRE	Pont de Loup	146,700
Bouffloux Châtelet	Louis ROISIN	Châtelet	Dagobert L'EFÈVRE	Châtelet	103,900
Farciennes »	Victor LAMBIOTTE	Tamines	Victor FIGUE	Farciennes	152,000
Aiseau »			Victor THIRAN	Aiseau	189,600
Lambusart	François LEBRON	Lambusart	Rufin RICHIR	Farciennes	122,200

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'exploitation	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
4 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Bonne Espérance</b> à Lambusart	Lambusart	Société anonyme des Charbonna- ges de Bonne- Espérance	Lambusart	a) { no 1 no 2	1 1
	<b>Tergnée, Aiseau- Presles,</b> à Farciennes	Pont de Loup, Presles, Aiseau, Farciennes	Société anonyme du Charbonnage d'Aiseau-Presles	Farciennes	a) St-Jacques ou Tergnée Panama ou Roselies	1 1
5 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT (1)	<b>Tamines,</b> à Tamines	Tamines, Moignelée, Keumiée et Velaine	Société anonyme des Charbonna- ges de Tamines	Tamines	a) Siège Ste-Eugénie Puits no 3 et 4) b) Siège Ste-Barbe	1 1
	<b>Auvelais Saint-Roch,</b> à Auvelais	Auvelais	Société anonyme des Charbonna- ges de St-Roch- Auvelais	Auvelais	a) Siège no 2 c) Siège no 1	1 1
	<b>Falisolle,</b> à Falisolle	Falisolle, Tamines et Fosse	Société anonyme du Charbonnage de Falisolle	Falisolle	a) Siège de la Réu- nion (puits no 1 et 2)	2
	<b>Arsimont,</b> à Auvelais	Auvelais, Tamines, Fosse, Arsimont	Société anonyme du Charbonnage d'Arsimont	Auvelais	a) Sièges no 1 et 2	1
	<b>Ham-sur- Sambre</b> à Ham-sur-Sambre	Ham-sur-Sambre	Société anonyme des Charbonna- ges de Ham-sur- Sambre et Mous- tier	Ham-sur- Sambre	a) Puits St-Albert Puits Ste Flore c) Galerie de Cas- taigne Puits Godron- val	1 » »

## Bassin de

(1) Directeur du 5<sup>e</sup> Arrondissement des Mines : M. l'Ingénieur en chef J. Libert, à Namur.

Localité	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RESIDENCE	
Lambusart	Amand PIERARD	Lambusart	Remy GILBOUX	Lambusart	89,550
Farciennes Roselies	Jules HENIN	Farciennes	Isidore PIRET	Farciennes	183,300
<b>Namur</b>					
Tamines	Mathieu LIESENS	Tamines	Emile DESCAMPS	Tamines	145,920
Auvelais »	Jean-Baptiste MIAUX	Auvelais	Théodule TIRIFAHY	Auvelais	61,810
Falisolle	Emile HERPIN	Falisolle	Emile GILSON	Falisolle	140,700
Arsimont	Alfred BRANCHE	Auvelais	Léopold LAMBOT	Auvelais	98,200
Ham s/Sambre » »	Emile FROMONT	Moustier-sur-Sambre	Maximilien LORIAUX	Ham s/Sambre	274,510

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
5 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Malonne,</b> à Malonne	Malonne et Floreffe	Société anonyme des Charbonna- ges de Malonne et Floreffe en liquidation	Namur	b) Galerie de la Gueule du Loup
	<b>Le Château,</b> à Namur	Namur	Société anonyme du Charbonnage du Château	Namur	a) Galerie
	<b>Basse- Marlagne,</b> à Namur	Namur	Société civile du Charbonnage de Basse-Marlagne	Namur	a) Galerie
	<b>Stud-Rouvroy,</b> à Andenne	Andenne et Sclayn	Société civile du Charbonnage de Stud-Rouvroy	Andenne	Siège de Stud a) et siège de Rouvroy
	<b>Groyne,</b> à Andenne	Andenne et Sclayn	Société anonyme du Charbonnage de Groyne	Andenne	a) Puits Peu-d'eau b) Puits de Groyne
	<b>Andenelle, Hautebise et Les Liégeois</b> à Andenne	Andenne et Haltinne	Société anonyme des Charbonna- ges de Hautebise	Andenne	b) Galerie de Meuse
6 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT (1)	<b>Bois de Gives et Saint-Paul</b> à Ben-Ahin	Ben-Ahin, Couthuin et Bas-Oha	Société anonyme des Charbonna- ges de Gives et St-Paul	Ben-Ahin	a) St-Paul c) <i>Ste-Barbe</i> <i>Galerie du fond</i> <i>Gorgin</i>
	<b>Halbosart- Kivelterrie,</b> à Villers-le-Bouillet	Villers-le-Bouillet	Famille Farcy	Villers-le Bouillet	a) Bellevue
	<b>Arbre-St-Michel</b> Horion-Hozémont	Horion-Hozémont	Société anonyme des Charbonna- ges de l'Arbre- St-Michel	Horion- Hozémont	b) Hallette

## Bassin de

(1) Directeur du 6<sup>e</sup> Arrondissement des Mines : M. l'Ingénieur en chef H. Hubert, à Liège.

LOCALITÉ	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RESIDENCE	
Malonne	Barbier ROMAIN	Malonne	Barbier ROMAIN	Malonne	5,450
Namur	Arthur DEFOSSE	Namur	François MEURICE	Namur	3,030
Namur	Gustave DESCURIEUX	Namur	Auguste PHILIPPART	Namur	1,730
Andenne Sclayn	Jules MATHIEU	Andenne	Désiré MATHIEU	Andenne	2,450
Andenne	Auguste PALANGE	Andenne	Louis WARZÉE	Andenne	4,480
Andenne »	Alexandre LAMBOTTE	Andenne	Alexandre LAMBOTTE	Andenne	5,100
<b>Liège</b>					
Ben-Ahin » » »	Auguste DE BARSY	Andenne	Auguste PARMENTIER	Ben-Ahin	34,555
Villers-lé- Bouillet	Emile FORTAMPS	Villers-le- Bouillet	Théophile PIROTTE	Vinalmont	4,277
Mons	Georges DELTENRE	Mons	François JORDAN	Mons	9,250

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'e
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
6 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Nouvelle-Montagne,</b> à Engis	Engis, Saint-Georges, Awirs, Gleixhe et Ho- rion-Hozémont	Société anonyme de la Nouvelle- Montagne	Engis	a) Héna Galerie de la Mallieue c) <i>Dos</i> b) <i>Tincelle</i>
	<b>Marihaye,</b> à Flémalle-Grande	Seraing, Jemeppe, Flé- malle-Grande, Flémalle- Haute, Chokier, Ramet	Société anonyme d'Ougrée - Mari- haye Division de Mari- haye	Ougrée  Flémalle- Grande	a) Vieille Marihaye { Pierre Denis no 1 Many Flémalle { no 3 no 4 Fanny { no 1 no 2 Boverie { extr. aér. c) <i>Yvoz</i>
	<b>Kessales-Artistes,</b> à Jemeppe	Jemeppe, Flémalle- Grande, Flémalle-Haute, Chokier, Mons et Horion-Hozémont	Société anonyme des Charbonna- ges des Kessales	Jemeppe	a) Kessales { no 1 no 2 Bon-Buveur Xhorré { no 1 no 2 Artistes
	<b>Concorde,</b> à Jemeppe	Flémalle-Grande, Grâce- Berleur, Hollogne-aux- Pierres, Jemeppe et Mons	Société anonyme des Charbonna- ges réunis de la Concorde	Jemeppe	a) Grands Makets Champ d'Oiseaux
	<b>Sart-au-Berleur,</b> à Grâce-Berleur	Grâce-Berleur et Jemeppe	Société anonyme du Charbonnage du Corbeau-au- Berleur	Grâce- Berleur	a) Corbeau
	<b>Bonnier,</b> à Grâce-Berleur	Grâce-Berleur et Hollogne-aux-Pierres	Société anonyme du Charbonnage du Bonnier	Grâce- Berleur	a) Pery

traction	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	
Les Awirs Engis St-Georges	Louis FROMONT	Engis	Charles DEHOUSSE	Les Awirs	53, 534
Seraing » Flémalle-Grand <sup>e</sup> Seraing » Yvoz-Ramet	Joseph DUBOIS	Flémalle-Grand <sup>e</sup>	Eugène HALLET	Flémalle-Haute	431, 132
Jemeppe » Flémalle-Grand <sup>e</sup> »	Victor LEDUC	Jemeppe	Victor NIZET Léopold NIZET	Jemeppe Flémalle-Grand <sup>e</sup>	352, 300
Jemeppe Mons	Eugène KELECOM	Liège	Joseph GRAMME	Grâce-Berleur	113, 100
Grâce-Berleur	Léandre FRANKIGNOLLE	Grâce-Berleur	Lucien FRANKIGNOLLE	Grâce-Berleur	61, 200
Grâce-Berleur	Léon BURLET	Grâce-Berleur	Léon BURLET	Grâce-Berleur	34, 576

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'e:	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
6 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Gosson-Lagasse</b> , à Montegnée	Montegnée, Jemeppe et Grâce-Berleur	Société anonyme des Charbonna- ges de Gosson- Lagasse	Jemeppe	a) Siège no 1 { no 1 } Siège no 2 { no 2 }	2
	<b>Horloz</b> , à Tilleur	Jemeppe, St-Nicolas et Tilleur	Société anonyme des Charbonna- ges du Horloz	Tilleur	a) Braconnier { no 1 } Tilleur { no 2 }	2
7 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Espérance et Bonne- Fortune</b> à Montegnée	Liège, Montegnée, Saint- Nicolas, Glain, Ans, Grâce-Berleur, Lon- cin, Alleur	Société anonyme des Charbonna- ges du même nom.	Montegnée	a) Nouvelle- Espérance Bonne-Fortune St-Nicolas	2 1 2
	<b>Ans et Glain</b> (Tassin), à Ans	Ans, Loncin, Voroux, Rocour, Alleur	Société anonyme des Mines de Houille d'Ans	Ans	a) Bure du Levant	1
	<b>Patience- Beaujonc</b> , à Glain	Ans, Glain, Liège	Société anonyme des Charbonna- ges de Patience- Beaujonc	Glain	a) Bure aux femmes Beaujonc Fanny	2 2 1
	<b>La Haye</b> , à Liège	Liège, St-Nicolas, Tilleur	Société anonyme des Charbonna- ges de La Haye	Liège	a) St-Gilles { no 1 } { no 2 } Piron { no 3 } { no 4 }	2 2 2 2
	<b>Sclessin- Val Benoit</b> , à Ougrée	Liège, St-Nicolas, Tilleur, Ougrée, Angleur	Société anonyme des Charbonna- ges du Bois d'Avroy.	Ougrée	a) Val Benoit Perron Grand Bac Bois d'Avroy { no 1 } { no 2 }	2 2 2 2 2

(1) Directeur du 7<sup>e</sup> Arrondissement, M. l'Ingénieur en chef E. Fineuse, à Liège.

Localité	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RESIDENCE	
Montegnée	Emile DISCRY	Jemeppe	Henri LHOEST	Montegnée	288,000
»					
St-Nicolas-lez-Liège Tilleur	Philippe BANNEUX	Tilleur	Antoine KAIRIS Gérard PILET	St-Nicolas-lez-Liège Tilleur	398,881
Montegnée Ans Liège	Paul HABETS	Liège	Auguste GILLET Georges RADELET Emile GÉVERS	Montegnée » »	329,640
Ans	Sylvain GOUVERNEUR	Ans	J.-B. HUBERT	Ans	86,980
Glain Ans »	Félix DURIEU	Liège rue en Bois	Léon THIRIART	Glain	334,210
Liège St-Nicolas	Eugène NAGANT	Liège	Armand CONSTRUM Joseph PONCELET	Liège Sclessin-Ougrée	366,350
Liège Ougrée » Liège	Célestin PETIT	Ougrée	Hilaire BOGAERT	Liège, quai de Fragnée, 201	306,880

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve
7 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Bonne-Fin-Bâneux</b> , à Liège	Liège, Ans, Rocour St-Nicolas, Bressoux	Société anonyme des Charbonna- ges de Bonne Fin	Liège	a) Ste-Margue- rite {no 1/ no 2} Bâneux Aumônier {no 1/ no 2}
	<b>Batterie</b> à Liège	Liège, Rocour, Vottem Voroux	Société anonyme de Bonne-Espé- rance et Batterie	Liège	a) Batterie
	<b>Espérance</b> , à Herstal	Herstal, Wandre			a) Bonne-Espérance b) Violette
	<b>Abhooz et Bonne-Foi-Hareng</b> , à Herstal	Wandre, Milmort, Cheratte, Rocour, Herstal, Vottem, Vivegnies, Voroux-lez-Liers, Oupeye, Liers, Argenteau, Hermée, Hermalle	Société anonyme des Charbonna- ges d'Abhooz et Bonne-Foi-Hareng	Herstal	a) Abhooz a) <i>Nouveau siège</i> b) Hareng
	<b>Petite-Bacnure</b> à Herstal	Herstal, Vottem	Société anonyme des Charbonna- ges de la Petite-Bacnure	Herstal	a) Petite-Bacnure
	<b>Grande-Bacnure</b> à Liège	Liège, Herstal, Vottem, Bressoux	Société anonyme de la Grande-Bacnure	Liège	a) Gérard Cloès
	<b>Angleur</b> , à Angleur	Angleur, Liège, Grivegnée	Société anonyme des Charbonna- ges d'Angleur	Angleur	a) Aguesses

traction	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
LOCALITÉ	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RESIDENCE	
Liège » »	Florent SOUHEUR	Liège	Eugène DERONCHÈNE	Liège	279,970
Liège	Théodore MASY	Liège	Joseph CLAUDE	Liège	194,180
Herstal Jupille					110,350
Herstal Milmort Herstal	Emile WERY	Milmort	Emile WÉRY	Milmort	169,490
Herstal	Alfred BERNARD	Liège	Louis MERCENIER	Herstal	51,770
Liège	Charles DEMANY	Liège	Louis KNAPEN	Liège	83,500
Angleur	Jules FRÉSON	Liège	Joseph DESSARD	Angleur	56,920

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
7 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Belle-Vue et Bien-Venue,</b> à Herstal	Herstal, Jupille, Vottem, Liège, Bressoux	Société anonyme des Charbonna- ges de Belle-Vue et Bien-Venue	Herstal	a) Belle-Vue	1
	<b>Bicquet-Gorée,</b> à Oupeye	Oupeye, Haccourt, Her- mée, Hermalle, Heure, le-Romain	Société anonyme des Charbonna- ges d'Oupeye	Oupeye	a) Pieter	sg
8 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT (1)	<b>Cockerill,</b> à Seraing	Seraing, Jemeppe, Tilleur, Ougrée	Société anonyme John Cockerill	Seraing	a) Colard { P. Marie Marie Caroline	2 2 2
	<b>Six-Bonniers,</b> à Seraing	Seraing, Ougrée	Société charbon- nière des Six- Bonniers	Seraing	a) Nouveau Siège c) <i>St-Antoine</i>	2 »
	<b>Ougrée,</b> à Ougrée	Ougrée, Angleur	Société anonvme d'Ougrée-Marihaye	Ougrée	a) n° 1	2
	<b>Trou-Souris, Houlleux- Homvent,</b> à Beyne-Heusay	Beyne-Heusay, Fléron, Queue du Bois, Jupille, Grivegnée, Chénée	Charbonnages réu- nis de l'Est de Liège	Beyne- Heusay	a) Homvent Bois de Breux	1 1
	<b>Steppes,</b> à Vaux-sous- Chèvremont	Vaux-sous-Chèvremont, Romsée, Magnée, Flé- ron, Ayeneux	Société civile du canal de Fond- Piquette	Vaux-sous- Chèvremont	a) Soxhluse	2
	<b>Cowette-Rufin</b> à Beyne-Heusay	Beyne-Heusay, Fléron	Société civile de Cowette - Rufin, Grand-Henri	Beyne- Heusay	a) Gueldre c) <i>des Moulins</i>	1 »

(1) Directeur du 8<sup>e</sup> arrondissement : M. l'Ingénieur en chef L. Willem, à Liège.

Localité	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RESIDENCE	
Herstal	Camille BROUHON	Herstal	Camille BROUHON	Herstal	35,190
Oupeye	Nicolas HALLET	Hermalle-sous-Argenteau	Michèl HALLET	Oupeye	23,300
Seraing	Alphonse GREINER (Auguste DAXHELET Ingénieur en chef des Charbonnages)	Seraing	Sylvain JACQUEMIN	Seraing	233,549
Seraing »	Baudouin SOUHEUR	Seraing	Mathieu LAY	Seraing	109,230
Ougrée	Gustave TRAFENSTER	Ougrée	Jos. PIETTE	Ougrée	111,538
Beyne-Heusay Grivegnée	Emile DESVACHEZ	Liège	JACQUEMIN	Beyne-Heusay	77,030
Romsée	André HALLET	Vaux-sous-Chèvremont	»	»	75,665
Beyne-Heusay	Toussaint DELSEMME	Beyne-Heusay	Léonard LOVINFOSSÉ	Beyne-Heusay	32,137

	CONCESSIONS		EXPLOITANTS ou Sociétés exploitantes		Sièges d'ex	
	NOMS et SITUATION	COMMUNES sur lesquelles elles s'étendent	NOMS	SIÈGE SOCIAL	NOMS OU NUMÉROS a) en activité b) en construction ou en avaleresse c) en réserve	CLASSEMENT
8 <sup>e</sup> ARRONDISSEMENT	<b>Wérister,</b> à Beyné-Heusay	Beyné-Heusay, Romsée, Fléron, Magnée, Vaux- sous-Chèvremont, Ché- née	Société anonyme de Wérister	Romsée	a) Wérister n° 2 . Onhons-St-Léonard c) Grandfontaine	2 1 »
	<b>Quatre Jean</b> à Queue du Bois	Queue du Bois, Retinne, Saive, Evegnée, Tignée, Cerexhe-Heuseux	Société anonyme des Quatre-Jean	Queue du Bois	a) Mairie	1
	<b>Lonette,</b> à Retinne	Retinne, Queue du Bois, Fléron	Société anonyme de Lonette	Retinne	a) de Retinne	1
	<b>Prés de Fléron,</b> à Fléron	Fléron, Retinne, Queue du Bois	Société civile des Prés de Fléron	Fléron	a) Charles	2
	<b>Hasard-Melin,</b> à Micheroux	Micheroux, Ayeneux, Retinne, Fléron, Ma- gnée, Oline, Soumagne, Melin, Evegnée, Tignée, Cerexhe-Heuseux, Mor- tier	Société anonyme du Hasard	Micheroux	a) Grand-Bure Cinq Gustave	2 2
	<b>Micheroux,</b> à Soumagne	Soumagne, Micheroux	Société anonyme du Bois de Mi- cheroux	Soumagne	a) Théodore	2
	<b>Crahay,</b> à Soumagne	Soumagne, Ayeneux, Micheroux	Société anonyme de Maireux et Bas-Bois	Soumagne	a) Maireux Bas-Bois Guillaume	2 » »
	<b>Herve-Wergi- fosse,</b> à Herve	Herve, Xhendelesse, Bat- tice, Soumagne, Melin, Chaineux	Société anonyme de Herve-Wer- gifosse	Xhendelesse	a) des Xhawirs des Halles	2 2
	<b>Minerie,</b> à Battice	Battice, Herve, Bolland, Thimister, Clermont, Charneux	Société anonyme de la Minerie	Battice	a) de Battice c) Dellicourt	sg »
	<b>Wandre,</b> à Wandre	Wandre, Herstal, Cheratte, Saive	Suermondt, frères	Wandre	a) Nouveau Siège	1

Localité	Directeurs gérants		Directeurs des travaux		Production en 1901 TONNES
	NOMS ET PRÉNOMS	RÉSIDENCE	NOMS ET PRÉNOMS	RESIDENCE	
Romsée Fléron Beyne-Heusay	Jules DUPONT	Fléron	François DEGHAÏE	Romsée	152,100
Queue du Bois	Mathieu LEDENT	Queue du Bois	»	»	63,870
Retinne	Léon LAGUESSE	Beyne-Heusay	Jacques DEVILLERS	Retinne	56,923
Fléron	Jacques DARTOIS	Fléron	Victor DARTOIS	Fléron	20,414
Micheroux Retinne	Paul D'ANDRIMONT	Micheroux	François HABRAN	Fléron	196,109
Soumagne	Louis GATHOÏE	Soumagne	Ernest BAILLY	Soumagne	72,577
Soumagne	Pierre GABRIEL	Soumagne	»	»	73,640
Xhendelesse Battice	Edmond GOFFART	Xhendelesse	Ernest MATHY	Xhendelesse	81,597
Battice Thimister	Joseph PREUDHOMME	Battice	»	»	31,118
Wandre	Henri et Robert SUERMONDT	Aix-la-Chapelle	Auguste MALAISE (fondé de pouvoirs)	Wandre	60,305

# DOCUMENTS ADMINISTRATIFS

---

## APPAREILS A VAPEUR

[35177837(483)]

---

(Instruction n° 50)

**Chaudières mobiles. — Essais annuels.**

---

Bruxelles, le 24 mars 1902.

### CIRCULAIRE

*à MM. les Ingénieurs en Chef, Directeurs de service pour la  
surveillance des appareils à vapeur.*

---

Mon Département a été récemment saisi de la question de savoir si, par application des articles 24, 1° et 37, 3°, de l'arrêté royal du 28 mai 1884, les chaudières des rouleaux compresseurs destinés à l'empierrement et à l'entretien des routes devaient être soumises à des essais annuels, et si, par assimilation, il devait en être de même des chaudières des grues mobiles, des défourneuses des fours à coke et autres analogues qui se déplacent par l'action du mécanisme qu'elles activent.

La Commission consultative permanente pour les appareils à vapeur a émis l'avis, auquel je me rallie, qu'à l'égal des chaudières de locomotives et des chaudières principales des bateaux à vapeur, celles des locomotives routières et des rouleaux compresseurs doivent, vu la nature de leur fonctionnement, faire l'objet d'épreuves renouve-

lées annuellement, mais que cette prescription ne doit pas être étendue aux chaudières des grues mobiles, des ponts roulants, des défourneuses des fours à coke et autres analogues.

Vous voudrez bien, Monsieur l'Ingénieur en Chef, porter cette interprétation des articles 24 et 37 du règlement à la connaissance du personnel qui vous est adjoint et veiller à son exécution.

*Le Ministre,*

Baron SURMONT DE VOLSBERGHE.

---

(Instruction n° 51)

---

**Chaudières à vapeur sans soudure. — Détermination  
des épaisseurs.**

---

Bruxelles, le 15 avril 1902.

**CIRCULAIRE**

à MM. les Ingénieurs en Chef, Directeurs de service pour la  
surveillance des appareils à vapeur.

---

Depuis un certain temps, l'emploi de viroles sans soudures importées d'Allemagne et assemblées bout à bout au moyen de rivures circulaires simples ou doubles, tend à se répandre dans notre pays pour la construction des corps cylindriques des chaudières à vapeur.

A cette occasion, il m'a été demandé comment devait se faire la détermination des épaisseurs de semblables chaudières.

La réponse à cette question est implicitement contenue dans l'article 35 de l'arrêté royal du 28 mai 1884, ainsi conçu :

« Une chaudière à vapeur ne peut fonctionner à une pression  
» dépassant le quart de la pression qui ferait rompre quelque'une de  
» ses parties. »

Pour en faire l'application aux chaudières dont il s'agit, il suffira de déterminer, en raison du timbre de l'appareil à construire, les épaisseurs nécessaires pour résister à l'effort qui tend à ouvrir le cylindre suivant une génératrice et à celui qui tend à le rompre suivant une section droite et à adopter de ces épaisseurs celle qui sera la plus grande.

Dans le calcul du premier de ces efforts, d'après la formule  $et = pr$ , il conviendra de prendre pour valeur de  $t$  le quart de la charge de rupture résultant des spécifications attestées par le constructeur ou par le fournisseur des tôles. Dans le calcul du second, pour lequel on adoptera la formule  $2et = pr$ ,  $t$  sera en outre multiplié par un coefficient de 0.40 ou de 0.55 à 0.60, suivant le mode de rivure adopté pour l'assemblage des tronçons successifs.

L'épaisseur à donner aux corps cylindriques des chaudières à vapeur se trouvant fortement réduite par l'emploi des viroles sans soudure, il conviendra, dans l'intérêt de la sécurité, d'y ajouter une surépaisseur suffisante en vue de l'usage.

En outre, il va de soi que les fonctionnaires chargés de délivrer les procès-verbaux d'épreuve ou les permis de mise en usage devront, au préalable, exiger des constructeurs ou des propriétaires des appareils une attestation explicite spécifiant que le corps cylindrique est constitué de viroles *sans soudure*, avec mention de la provenance, de la nature et de la charge de rupture de celles-ci.

Vous voudrez bien, Monsieur l'Ingénieur en chef, avoir égard aux instructions qui précèdent et en donner connaissance aux fonctionnaires sous vos ordres.

*Le Ministre de l'Industrie et du Travail,*

BARON SURMONT DE VOLSBERGHE.

---

APPAREILS A VAPEUR

---

ACCIDENTS SURVENUS EN 1901

[31 : 614837 (493)]

---

NOS D'ORDRE	DATE de l'accident	A. Nature et situation de l'établissement où l'appareil était placé; B. Noms des propriétaires de l'appareil; C. Noms des constructeurs id. D. Date de mise en service.	NATURE FORME ET DESTINATION DE L'APPAREIL  Détails divers
1.	9 février 1901	A. Fabrique de produits chimiques, à Vilvorde. B. Gustave Humbert et Cie. C. André Simon, à Châtelet. D. 30 octobre 1869.	Chaudière cylindrique, horizontale, de 5 <sup>m</sup> 03 de longueur et de 1 <sup>m</sup> 03 de diamètre, à bouts bombés, en tôle de fer 10 m/m, munie de deux tubes réchauffeurs, chacun de 4 <sup>m</sup> 40 de longueur et 0 <sup>m</sup> 60 de diamètre en tôle de fer de 9 m/m. Dôme de 0 <sup>m</sup> 54 de hauteur sur 0 <sup>m</sup> 60 de diamètre; 23 <sup>m</sup> 00 de surface de chauffe. Timbrée à 4 atmosphères. Elle fournissait la vapeur à une machine de 4 chevaux de force qui actionnait des ventilateurs.
2	28 février 1901	A. Brasserie à Waterliet (Hoogkasteel). B. De Sutter, Albéric. C. Inconnus. D. Inconnue.	Chaudière cylindrique horizontale à bouts bombés et réservoir à vapeur : Longueur 4 <sup>m</sup> 00 à 4 <sup>m</sup> 20 } Fer de 11 m/m, Diamètre 0 <sup>m</sup> 70 } rivure simple. Réservoir à vapeur : Hauteur 0 <sup>m</sup> 80 } Fer de 11 m/m Diamètre 0 <sup>m</sup> 60 } rivure simple. La chaudière a été construite avant 1884. L'appareil servait à actionner une pompe. Il fournissait la vapeur nécessaire à la fabrication. Pression maximum : 4 atmosphères

## EXPLOSION

CIRCONSTANCES	SUITES	CAUSES PRÉSUMÉES
<p>Une déchirure longitudinale s'est produite dans le flanc gauche de la 1<sup>re</sup> virole un peu au-dessus d'une pièce de 0<sup>m</sup>68 de longueur et de 0<sup>m</sup>72 de largeur que portait la tôle à feu et s'est continuée sur le pourtour du générateur suivant la seconde rivure transversale.</p> <p>La maçonnerie, qui enveloppait l'appareil, a été renversée.</p> <p>L'accident s'est produit vers midi et un quart.</p>	<p>Deux ouvriers en repos, l'un devant, l'autre derrière la chaudière, ont été grièvement brûlés par la vapeur; le premier a succombé le lendemain.</p>	<p>Manque d'eau dans la chaudière et, par suite, surchauffe de la tôle à feu.</p>
<p>L'explosion s'est produite vers 12 h. 45 m., au moment de la reprise du travail et alors que le contremaître de la brasserie se disposait à ouvrir la prise de vapeur.</p> <p>La chaudière s'est divisée en un grand nombre de morceaux suivant des lignes de moindre résistance; de nombreux débris ont été projetés aux alentours. Après avoir décrit un arc de cercle, elle est retombée dans une position perpendiculaire à sa situation primitive.</p> <p>Au moment de l'accident, le manomètre, d'après le contremaître, marquait 3 atmosphères et l'eau se montrait à plusieurs travers de doigt au-dessus du niveau normal.</p>	<p>Le chauffeur et sa femme qui se trouvaient devant la façade de la chaudière, ont été grièvement brûlés. Ils sont morts tous deux des suites de leurs blessures. Le contremaître et un jeune garçon qui l'accompagnait ont été également légèrement blessés.</p> <p>L'explosion de la chaudière a eu pour conséquence l'effondrement pour ainsi dire complet du bâtiment qui la renfermait, la chute de la cheminée en tôle et des dégâts matériels importants au reste de la brasserie.</p>	<p>Chaudière ancienne, dont les tôles étaient cintrées perpendiculairement au sens du laminage; certaines d'entre elles présentaient des amincissements considérables.</p> <p>Mauvais état d'entretien et de conservation de l'appareil.</p> <p>Le certificat de la dernière visite intérieure, faite au mois de décembre 1899, renseignait l'appareil comme ne présentant rien d'anormal.</p>

# ANNALES DES MINES DE BELGIQUE

## SOMMAIRE DE LA 2<sup>me</sup> LIVRAISON, TOME VII

### MÉMOIRES

PAGES

Nouveau bassin de coulée des Aciéries d'Angleur . . .	<b>V. Firket.</b>	279
Note sur les accidents dus à l'emploi de l'électricité dans les mines de Prusse . . . . .	<b>A. Halleux.</b>	305
Note sur l'embarquement des explosifs à Liefkenshoek	<b>F. Guchez.</b>	316
La prévention des accidents en Allemagne . . . . .	<b>J. Brughmans.</b>	325
Les travaux de la Commission prussienne des ébou- lements . . . . .	<b>L. Denoël</b>	337

### NOTES DIVERSES

Bibliographie générale des gisements de phosphates.	<b>X. Stainier.</b>	369
Quelques notes sur l'EXPOSITION ET LE CONGRÈS INTERNA- TIONAL DES INGÉNIEURS A GLASGOW (3 <sup>me</sup> art.)	<b>J. Libert et V. Watteyne</b>	385
Dictionnaire des matières explosives . . . . .		574

### RÉGLEMENTATION DES MINES, etc., à l'étranger

<b>Allemagne.</b> — Réglementation générale des mines de l'Inspection générale de Breslau (18 janvier 1900) ( <i>Suite</i> ) . . . . .		581
Id.      Projet de loi concernant l'acquisition par l'Etat des propriétés houillères en Westphalie . . . . .		602

### STATISTIQUES

Tableau des mines de houille en activité dans le royaume de Belgique en 1901; noms, situation, puits, classement, noms et résidence des Directeurs, production en 1901 . . . . .		611
--	--	-----

### DOCUMENTS ADMINISTRATIFS

#### *Appareils à vapeur :*

Instruction n° 50. — Essai annuel des chaudières mobiles; circulaire ministérielle du 24 mars 1902 . . . . .		649
Instruction n° 51. — Chaudières sans soudure. — Détermination des épreuves. — Circulaire ministérielle du 15 avril 1902 . . . . .		650
Accidents survenus en 1901 . . . . .		653