



Section de l'Ingénieur

LE CHATELIER

LE GRISOU

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

G. MASSON

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

| MM. | MM. | MM. |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Alain-Abadie. | Gassaud. | Margerie. |
| Alheilig. | Gautier (Armand). | Meyer (Ernest). |
| Armengaud jeune. | Gautier (Henri). | Michel-Lévy. |
| Arnaud. | Godard. | Minel (Pol). |
| Bassot (Colonel). | Gouilly. | Minet (Ad.). |
| Baume Pluvinel (de la). | Grouvelle (Jules). | Moësgard (Comm ^t). |
| Bérard (A.). | Guenez. | Moissan. |
| Bergeron (J.). | Guillaume (Ch.-Ed.). | Monnier. |
| Berthelot. | Guye (Ph.-A.). | Moreau (Aug.). |
| Bertin. | Guyou (Comm ^t). | Naudin (Laurent). |
| Billy (Ed. de). | Hatt. | Ouvrard. |
| Bloch (Fr.). | Hérisson et Roché. | Perrin. |
| Blondel. | Hospitalier (E.). | Perrotin. |
| Boire (Em.). | Hubert (H.). | Picou (R.-V.). |
| Boucheron (H.). | Hutin. | Poulet (J.). |
| Candlot. | Jacométy. | Resal (J.). |
| Caspari. | Jean (Ferdinand). | Ricaud. |
| Charpy (G.). | Labouret (de). | Rocques-Desvallées. |
| Clugnet. | Launay (de). | Rouché. |
| Croneau. | Laurent (H.). | Sarrau. |
| Damour. | Lavergne (Gérard). | Sauvage. |
| Defforges (Comm ^t). | Léauté (H.). | Schloësing fils (Th.). |
| Delafond. | Le Chatelier (H.). | Schützenberger. |
| Dudebout. | Lecomte. | Seyrig (T.). |
| Duquesnay. | Leloutre. | Sinigaglia. |
| Durin. | Lenicque. | Sorel. |
| Dwelschauvers-Dery. | Le Verrier. | Urbain. |
| Etard. | Lindet (L.). | Vermand. |
| Fabre (C.). | Lippmann (G.). | Viaris (de). |
| Fourment. | Lumière (A. et L.). | Widmann. |
| Fribourg (Comm ^t). | Madamet (A.). | Witz (Aimé) |
| Frouin. | Magnier de la Source. | |
| Garnier. | Malher (P.). | |

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

LE CRATELIER — Grisol.

1

Ce volume est une publication de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général, 46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.

N° 27 A.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LE GRISOU

PAR

H. LE CHATELIER

Ingénieur en chef des Mines

Professeur à l'École nationale des Mines

Chimie à l'École Polytechnique

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

G. MASSON, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

NATURE ET PRODUCTION DU GRISOU

1. Composition du Grisou. — On désigne sous le nom de *grisou* ⁽¹⁾ un gaz combustible qui se dégage spontanément dans la plupart des mines de houille, parfois aussi mais, beaucoup plus rarement, dans certaines mines métalliques, dans les mines de sel et dans les soufrières de Sicile. Mélangé en proportion convenable avec l'air qui se trouve dans les galeries de mine, il donne naissance à des mélanges explosifs dont l'inflammation accidentelle provoque ces terribles catastrophes qui amènent parfois dans l'es-

(1) Grisou, brisou, terroux, feux grioux, mofette, mauvais air, mauvais goût, *fire live*, *fire damp*, *Schlagende Wetter*.

pace de quelques minutes la mort de plusieurs centaines d'ouvriers.

Davy en 1813 (1) avait conclu de ses analyses que le grisou était du *protocarbure d'hydrogène* (2) mêlé à de petites quantités de gaz inertes : azote et acide carbonique, c'est-à-dire était identique comme composition chimique au *gaz des marais*. Aujourd'hui on admet généralement mais sans preuves suffisamment sérieuses, que le grisou renferme en dehors du protocarbure une certaine quantité d'autres gaz combustibles : hydrogène libre ou carbures moins riches en hydrogène que le protocarbure.

Les échantillons de grisou soumis à l'analyse chimique ont été recueillis par des procédés très différents, qui sont loin de présenter les mêmes garanties de pureté pour le gaz. Les deux seuls qui soient irréprochables consistent à recueillir le grisou qui provient soit de *soufflards*, c'est-à-dire des dégagements continus se produisant en certains endroits par les fissures du massif de houille ou des roches encaissantes, soit

(1) DAVY. — Le grisou (*Ann. de Phys. et Chim.* 1^{re} série, t. I.).

(2) Protocarbure d'hydrogène, gaz des marais, formène, méthane, hydrure de méthyle, hydrure de méthylène. C^2H^4 (équivalents), CH^4 (atomes).

de *trous de sonde* percés dans le massif de houille.

Dans bien des cas on a employé pour se procurer du grisou un procédé beaucoup plus simple, mais tout à fait défectueux, qui consiste à chauffer au laboratoire des fragments de houille récemment extraits de la mine en les portant à la température de 100° dans le vide ou dans un courant de vapeur d'eau. On a supposé, sans avoir jamais essayé d'en faire la preuve que le gaz ainsi dégagé était simplement emprisonné dans le charbon et ne provenait pas de sa décomposition. Si cette hypothèse semble exacte pour un grand nombre de houilles qui ne commencent à se décomposer qu'au-dessus de 300° et même à cette température ne donnent que du goudron, les gaz ne commençant à apparaître que vers 400°, elle est certainement inexacte pour plusieurs variétés du charbon : le cannel coal, le lignite, la poussière de houille oxydée à l'air et probablement aussi quelques variétés de houille même non oxydée. Toutes les analyses faites sur des gaz semblables ne peuvent donc être rapportées au grisou.

2. Analyse. — Voici quelques analyses de grisou effectuées sur du gaz provenant de soufflards ou de trous de sonde et offrant par suite les garanties de pureté désirables.

| Provenance du gaz | CH ₄ | CO ₂ | Az | O | Auteurs des analyses |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-------|------|-----------------------|
| Mine de Dunraven. | | | | | |
| (soufflard) | 96,7 | 0,47 | 2,79 | 0,0 | J.-W. Thomas (1) |
| (trou de sonde) | 96,5 | 0,44 | 3,02 | 0,0 | " |
| Mine de Garswood | 84,16 | 0,86 | 12,3 | 2,65 | W. Kellner (2) |
| (soufflard) | 88,86 | 0,41 | 8,90 | 1,83 | " |
| Mine de Clamorgan. | | | | | |
| (soufflard) | 93,01 | 0,27 | 5,94 | 0,78 | " |
| Mine de Domban. | | | | | Commission autri- |
| (soufflard) | 95,11 | 0,48 | 4,07 | 0,34 | chienne du grisou (2) |
| Mine de Karwin | 94,59 | 0,18 | 4,48 | 0,75 | " |
| (soufflard) | 99,10 | 0,2 | 0,7 | 0,0 | " |
| Mine de Hruschau | 79,16 | 3,19 | 17,04 | 0,61 | " |
| (soufflard) | 87,93 | 0,83 | 10,25 | 0,99 | " |
| Mine de Peterswald. | | | | | |
| (soufflard) | 90,00 | 0,15 | 9,25 | 0,60 | " |
| Mine de Segen Gottes. | 83,51 | 1,17 | 15,02 | 0,30 | Sauer (4) |
| (trou de sonde) | 87,16 | 1,11 | 11,73 | 0,0 | " |
| Mine de Liebe Gottes. | | | | | |
| (trou de sonde) | 77,69 | 3,77 | 18,48 | 0,06 | " |

(1) J.W. THOMAS. — On the gases enclosed in Coals from the South Wales Basin and the gases evolved by blowers and by boring into the Coal itself. (*Journal of the Chemical society of London*, 2^e série Tome XIII, 1875).

(2) D'W. KELLNER. — Senior assistant Chemist of the war departement. Analysis of fire damp. (*Final report of her Majestys commissionners appointed to inquire into accidents of Mines*, p. 144-186)

(3) Schlussbericht der Centralcomitte der österreis chischen schlagwetter commission p. 18, 1891.

(4) Voir note de la p. 23.

Ces analyses et beaucoup d'autres semblables n'accusent dans le grisou comme gaz combustible que le protocarbure d'hydrogène. Quelques unes cependant indiqueraient d'autres gaz tels que l'hydrogène, l'éthylène, l'hydrure d'éthylène; c'est là un point qui mérite d'être élucidé, car ces gaz, plus facilement inflammables augmenteraient, notablement par leur présence le danger du grisou.

L'éthylène n'a jamais été signalé que par Bishoff en 1841. Ses analyses, à force d'être réimprimées, ont fini par acquérir une autorité qu'elles ne méritent en aucune façon. Les méthodes d'analyse employées ne comportaient aucune exactitude, à ce point que les quantités d'éthylène trouvées dans un même gaz ont varié de 0 à 10 % suivant le procédé de dosage suivi.

L'hydrogène et l'hydrure d'éthylène ont été signalés un peu plus souvent, particulièrement dans les analyses du D^r Schondorff qui ont été faites sous les auspices de la commission prussienne du grisou.

Antérieurement aux recherches, du D^r Schondorff, la présence de l'hydrogène dans le grisou avait été signalée deux fois : une première fois en 1846 par Playfair qui avait, dans une seule

analyse, trouvé 3 % de ce gaz, mais il a été reconnu depuis ⁽¹⁾ que cet hydrogène était simplement le résultat d'une erreur de calcul; une seconde fois par M. Fouqué ⁽²⁾ qui a donné pour la composition du grisou provenant d'un soufflard de la fosse Réussite à Auzin :

| CH ₄ | H | CO ₂ | O | Az |
|-----------------|------|-----------------|------|------|
| 93,51 | 2,24 | 3,97 | 0,21 | 1,97 |

Mais la méthode d'analyse suivie et les résultats bruts de l'expérience n'ayant pas été publiés, il n'est pas possible de discuter ces nombres. Il est néanmoins certain que la teneur en hydrogène de 2,24 % ne dépasse pas les erreurs possibles d'expérience.

L'hydrure d'éthylène avait été signalé par J.W. Thomas dans le gaz du soufflard géant de la mine de Clarmogan, à Llwynypia, mais les analyses plus récentes du D^r Kellner sur le même gaz ont conduit à une conclusion contraire.

(1) ERNST VON MEYER. — *Journal für praktische Chemie*. 3^e série t. V. p. 115.

(2) Pièces annexées aux procès-verbaux de la *Commission du grisou*, p. 75.

| Auteur des analyses | CH ⁴ | CO ² | Az + O | C ² H ⁶ |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------|-------------------------------|
| Thomas . . . | 91,78 | 0,72 | 33,60 | 0,90 |
| Keilner . . . | 93,01 | 0,27 | 6,73 | 0,00 |

Les expériences récentes du Dr Schondorff (1) indiquent toutes dans le grison la présence soit d'hydrogène, soit d'hydrure d'éthylène. On serait tenté d'accepter sans discussion ces conclusions si l'on s'en tient à l'extrême précision apparente des expériences; les températures étaient mesurées au $\frac{1}{100}$ de degré, et les pressions au $\frac{1}{20}$ de millimètre; mais l'on regrette de voir qu'aucune des analyses n'a été répétée deux fois et que dans aucun cas les résultats bruts de l'expérience n'ont été publiés comme cela se fait toujours dans les recherches scientifiques de quelque précision. On est surtout frappé du manque d'esprit critique qui a permis à l'auteur de déterminer des teneurs en gaz étrangers inférieures à celles que le calcul peut introduire par le fait de l'incerti-

(1) Bericht von Dr Schondorff über die von Wetterlaboratorium zu Bochum ausgeführten wissenschaftlichen und technischen Ermittlungen (*Anlagen zum Haupt Bericht der Preussischen schlagwetter commission*, 1885 — Band I (p. 24) et *Journal de Carnall*, t. XXIV, p. 73.

tude qui existe dans la détermination des poids équivalents du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène ou des densités de leurs combinaisons gazeuses. Une discussion approfondie de ces analyses est indispensable. Voici d'abord les principaux résultats publiés par le D^r Schondorff.

| Provenance du gaz | CH ⁴ | C ² H ⁶ | H | CO ² | Az + O |
|---|-----------------|-------------------------------|------|-----------------|--------|
| SOUFFLARDS | | | | | |
| Mine <i>Bonifacius</i> à Kray (Essen) . . . | 90,94 | " | 1,40 | 0,30 | 7,36 |
| — <i>Consolidation</i> à Schalk (Westphalie) . . . | 89,88 | " | 5,84 | 0,67 | 3,61 |
| — <i>König</i> à Neunkirchen (Saarbrück) . . . | 84,89 | 1,62 | " | 0,65 | 12,84 |
| — <i>Obernkirchen</i> à Schaumburg . . . | 60,46 | 37,64 | 2,11 | 2,56 | " |
| | 93,66 | 0,88 | " | 0,43 | 4,80 |
| CLOCHES | | | | | |
| Mine <i>Lothringen</i> à Castrop (Westphalie) . . . | 27,95 | " | 1,35 | 0,45 | 70,35 |
| — <i>Neu Iserlohn</i> à Laugendren (Westphalie) . . . | 4,75 | " | 0,09 | 1,34 | 65 |
| | 4 | 0,06 | " | 0,40 | 95 |

Ces analyses, comme toutes les analyses semblables d'ailleurs, ont été faites par la méthode eudiométrique dans laquelle tous les gaz

combustibles autres que le protocarbure ne peuvent être dosés que par différence. Il en résulte que toutes les erreurs d'expérience sont estimées sous forme de corps réels tantôt comme hydrogène, tantôt comme hydrure d'éthylène, suivant le sens de ces erreurs. Un calcul très simple montre qu'une erreur sur la quantité d'acide carbonique produite égale au $\frac{1}{100}$ ou au $\frac{1}{1000}$ du volume total conduit à admettre les proportions suivantes des deux gaz précités dans les cas où le mélange brûlé est composé de $\frac{1}{5}$ de gaz combustible et $\frac{4}{5}$ d'oxygène.

| Erreurs sur CO ² | CH ⁴ | H | C ² H ⁶ |
|-----------------------------|-----------------|-----|-------------------------------|
| 0 | 100 | // | // |
| - 0,001 | 99,3 | 0,7 | // |
| - 0,01 | 93,4 | 6,6 | 0 |
| + 0,001 | 99,4 | // | 0,6 |
| + 0,01 | 94 | // | 6 |

La précision du $\frac{1}{1000}$ est pratiquement impossible à obtenir, celles du $\frac{1}{100}$ peut facilement être réalisée par un opérateur soigneux. Il est donc dans tous les cas impossible de reconnaître des quantités de gaz étrangers inférieures à $1 \frac{0}{0}$; on ne peut répondre avec certitude de leur présence que là où le calcul indique une teneur

d'au moins 6 $\frac{0}{0}$. On est ainsi conduit à ne retenir parmi toutes les analyses du D^r Schondorff que celle du soufflard d'Obernkirchen qui indique 37,64 de C³H⁶. Mais si l'on remarque que ce gaz ne renferme pas d'azote, ce qui semble exclure une origine végétale, que parmi des centaines d'analyses de grisou il n'y en a pas d'autres présentant cette particularité et qu'enfin ce gaz provient d'un combustible du Lias et non du terrain houiller, on est conduit à penser que l'on a affaire à un gaz naturel analogue à celui des gisements de pétrole plutôt qu'à du véritable grisou.

On peut donc affirmer que jusqu'ici le proto-carbure d'hydrogène est le seul gaz combustible dont la présence ait été reconnue avec certitude dans le grisou. Si l'on doit un jour en trouver d'autres, il est permis de supposer que ce seront surtout des vapeurs des carbures lourds, liquides ou solides, dont des traces indosables suffiraient pour expliquer l'odeur dégagée par certaines couches de houille.

3. Formation du grisou. — La houille provient de la décomposition des matières végétales enfouies à l'abri de l'air ; le grisou a nécessairement la même origine première.

Il se trouve actuellement tout formé dans la houille où il reste emprisonné jusqu'au moment

de l'exploitation de cette dernière. Sa formation est certainement contemporaine de celle de la houille dont les dernières transformations n'ont dû s'achever qu'après que le terrain houiller recouvert d'une épaisseur considérable de morts-terrains a été le siège de variations de pression ou de température plus ou moins considérables. L'existence d'un manteau épais de matières pesantes et imperméables est indispensable pour expliquer l'emprisonnement des quantités considérables de grisou que l'on retrouve aujourd'hui dans la houille.

La formation du proto-carbure d'hydrogène dans la décomposition des matières végétales est une réaction normale ; elle se produit encore sous nos yeux dans les marais où elle donne naissance à un gaz identique au grisou. Enfin la production de ce gaz est absolument conforme aux lois générales de la chimie. Les végétaux sont des corps instables analogues aux explosifs qui ont absorbé aux radiations solaires un excédent d'énergie disponible qu'ils tendent à restituer spontanément, même en l'absence de l'oxygène nécessaire à leur combustion complète. Cet équilibre définitif, dont les végétaux se rapprochent progressivement dans leur décomposition à l'abri de l'air, correspond au passage de la tota-

lité de l'oxygène à l'état d'acide carbonique, de l'hydrogène à l'état de protocarbure et de l'azote à l'état d'azote libre. La houille est une des étapes dans ce retour vers l'état d'équilibre stable qui est définitivement atteint par le grisou, mélangé de protocarbure, acide carbonique et azote.

4. Gisement du grisou. — La question du gisement du grisou a été complètement élucidée par les recherches expérimentales de M. Lindsay-Wood ⁽¹⁾ et les études théoriques de M. Mallard ⁽²⁾ Il résulte de ces travaux que le grisou est renfermé dans la houille et les roches encaissantes comme l'eau dans un corps poreux et qu'il y est comprimé à des pressions parfois considérables.

L'existence de ces pressions élevées reconnue pour la première fois en Belgique ⁽³⁾ a été établie d'une façon définitive par les expériences faites en Angleterre par M. Lindsay-Wood de 1879 à 1881. Pour procéder à la mesure de ces pressions on a percé au front de taille d'une galerie un trou de sonde dont la profondeur variable

(1) *Proceedings of the North of England Institute of mining and mechanical Engineers.* Vol. XXX, 1881, p. 163 à 257.

(2) MALLARD. — Traduction par extraits du mémoire de M. Lindsay-Wood. (*Annales des mines.* Mai, Juin; 1882).

(3) CORNET. — *Bulletin de l'Académie royale de Belgique.* 2^e série, t. XLVII, mai 1879.

a atteint dans certains cas 15 mètres. Un tube de fer poussé jusqu'au fond de ce trou était entouré d'un garnissage étanche obtenu avec des rondelles alternatives de bois et d'étoupes trempées dans le ciment qui étaient fortement comprimées l'une contre l'autre. On vissait sur l'extrémité libre du tube soit un manomètre destiné à la mesure des pressions, soit un ajutage destiné à recueillir le gaz et mesurer son débit.

On peut résumer ainsi les résultats obtenus :

Les pressions vont en croissant avec la profondeur du trou de sonde; elles sont d'autant plus élevées que le charbon est plus compact, moins poreux. Le débit de grisou par unité de surface de l'extrémité libre du trou de sonde, croît avec la profondeur et varie en raison inverse de la compacité de la houille.

Les mesures les plus régulières ont été obtenues à la mine de Harton, couche Bensham, profondeur de 370 mètres.

| Profondeur du trou | Pression par c ² | Débit par heure en m ³ par m ² de la section libre du trou. |
|---------------------------------|-----------------------------|--|
| 4 ^m , 9 ⁵ | 13 ^{kg} , 8 | 0 ^m ³ , 089 |
| 8, 40 | 16, 2 | 0, 120 |
| 11, 32 | 20, 7 | 0, 347 |

Les pressions les plus fortes observées dans les autres mines ont été :

| Désignation des mines | Profondeur du trou | Pression |
|--|---------------------|----------|
| Mine Elemore, <i>couche low>Main.</i> | 2 ^m , 60 | 11, 98 |
| Mine Hetton, <i>couche Hutton.</i> | 2, 74 | 3, 16 |
| Mine Eppleton, <i>couche Hutton.</i> | 14, 30 | 16, 40 |
| Mine Balden, <i>couche Bensham.</i> | 9, 71 | 32, 4 |

Des expériences semblables faites par la Commission anglaise du grisou ⁽¹⁾ en suivant les méthodes employées par M. Lindsay-Wood ont donné les résultats suivants :

| Désignation des mines | Profondeur du trou | Pression |
|----------------------------------|--------------------|------------------|
| Mine Harris navigation | 10 ^m | 10 ^{kg} |
| Mine Merthyr Vale. | 15 | 18 |
| Mine Celynen | 16 | 31 |

Ces chiffres ne sont que des minima ; à une distance plus grande de la surface libre du charbon la pression se serait encore élevée davantage.

M. Mallard a montré que l'on pouvait très simplement rendre compte de cette augmenta-

(1) *Final report of her Majesty's commissioners appointed to inquire into accidents in Mines.* 1886, p. 21.

tion progressive de la pression à partir de la surface libre du charbon en admettant que le gaz imprègne le combustible comme l'eau imprègne une couche poreuse et que son écoulement au dehors résulte exclusivement de la différence de pression entre l'intérieur de la masse et l'extérieur. Le calcul montre alors que la répartition du grisou dans l'intérieur du massif de houille se fait comme celle de la température dans une masse de même forme et soumise à des conditions thermiques que l'on obtiendrait en remplaçant le coefficient de perméabilité par le coefficient de conductibilité, les pressions par les températures, les poids de gaz par les quantités de chaleur perdue. Le tableau suivant, emprunté au mémoire de M. Mallard, donne la comparaison des résultats du calcul et de l'expérience pour la mine Eppleton :

| Profondeur du trou | Pressions | |
|---------------------|-----------|----------|
| | observées | calculée |
| 1 ^m , 07 | 3,86 | 4,2 |
| 2, 29 | 7,3 | 7,3 |
| 7, 49 | 14,3 | 13,7 |
| 7, 64 | 15,5 | 14 |
| 11, 20 | 15,7 | 16,3 |
| 14, 30 | 16,45 | 17,8 |

Les expériences de M. Lindsay-Wood donnent donc la meilleure démonstration de ce fait que le grisou n'est pas le résultat d'une décomposition actuelle de la houille ; mais qu'il y est simplement contenu comme un gaz quelconque dans une matière poreuse.

Cette manière d'être du grisou donne immédiatement, comme l'a fait remarquer M. Mallard, l'explication des différentes particularités de son gisement. La pression considérable du grisou ne peut être équilibrée que par le poids des morts-terrains qui recouvrent la houille ; c'est la raison pour laquelle les couches très grisouteuses ne se rencontrent jamais qu'à une grande profondeur. Quand les affleurements d'une couche remontent jusqu'au jour, celle-ci devient de plus en plus pauvre en grisou à mesure qu'elle s'élève, parce que le gaz vers les parties supérieures s'est répandu dans l'atmosphère libre, comme il le fait pendant l'exploitation dans l'atmosphère des galeries.

De plus, le grisou qui s'est certainement formé dans l'intérieur de la masse de houille n'y est pas resté confiné, il s'est diffusé dans les terrains encaissants en quantité variable suivant leur degré de perméabilité. Il en résulte que, lorsque la houille se trouve au voisinage d'une couche

de grès poreuse, le grisou s'y accumule s'il est retenu par une couche imperméable supérieure. Le grès donne alors un autre niveau de gaz qui pourra constituer un réservoir plus abondant que la couche elle-même en raison de sa plus grande porosité. De même encore, lorsque la houille se trouve en communication avec une cavité produite par une faille ou par toute autre cause, le grisou s'y accumule jusqu'à ce qu'il ait pris une tension égale à celle qu'il possède dans les terrains environnants.

Il résulte de la perméabilité inégale des différentes portions de la couche, de la présence de barres imperméables ou de failles remplies de matériaux plastiques, que les différents quartiers d'une même exploitation sont parfois très inégalement grisouteux. Certaines régions pourront avoir conservé une quantité considérable de grisou tandis que des régions voisines auront laissé diffuser au loin tout le leur.

5. Rendement du grisou. — La quantité de grisou que peut dégager une quantité donnée de houille soit directement, soit des terrains avoisinants où il s'est accumulé est nécessairement très variable. La formation initiale n'est vraisemblablement pas la même pour les différentes variétés de houille, de plus une proportion plus ou

moins grande qui peut aller jusqu'à la totalité s'est disséminée soit dans l'atmosphère, soit à de grandes distances dans les terrains encaissants d'où il ne peut plus refluer vers la mine en exploitation.

Pour se faire une idée sur cette proportion de grisou, on en est réduit à déterminer simultanément la quantité de gaz qui sort journellement d'une mine en exploitation régulière et la quantité de charbon extraite dans le même temps. Bien que la houille ait depuis longtemps dégagé la presque totalité de son gaz au moment où elle est sortie de la mine, on peut admettre qu'en moyenne la quantité de gaz qu'elle a fournie est équivalente à la quantité de gaz qui se dégage dans la mine pendant son extraction et qui provient du massif encore en place. Cela serait rigoureusement vrai si le gisement de houille consistait en un prisme de charbon, couché horizontalement, de longueur illimitée et parfaitement homogène. En fait l'irrégularité des couches, de développement des travaux en rayonnant, autour du puits d'extraction, enfin le voisinage de travaux antérieurs altèrent la quantité normale du grisou dégagé. De plus l'abandon dans la mine des menus, des veines trop minces pour être exploitées,

ou trop riches en cendres donnent pour le poids de houille abattu, calculé d'après l'extraction, un chiffre beaucoup trop faible. De pareilles recherches ne peuvent donc au point de vue théorique donner une idée bien précise de la quantité de grisou qui s'est produite concurremment avec un poids donné de houille, mais elles donnent, ce qui est surtout intéressant au point de vue pratique, une idée de l'ordre de grandeur des quantités de grisou qui peuvent accompagner l'extraction d'une quantité donnée de houille.

La plupart des renseignements que l'on possède sur ce sujet proviennent des expériences entreprises en vue de déterminer l'influence des variations barométriques sur le dégagement du grisou. Une série d'expériences faites par les soins de la Commission prussienne du grisou en 1885 ⁽¹⁾ a donné les résultats suivants, comme nombre de

(1) *Versuche über die allmälige Entgasung einer Bau-Abtheilung des schachtes Kaiserstuhl der Steinkohlenseche Ver. Westfalia bei Dortmund* (Anlagen zum Hauptbericht der Preussischen Schlagwetter Commission). Vol. IV, p. 213 et 214 et *Bericht über Versuche eintreffend den Einfluss des wechselnden Luftdruckes auf die Entwicklung des Grubengases* (Anlagen, p. 88 à 913).

mètres cubes de grisou dégagé par tonne de houille extraite.

| Mines | Volume de grisou |
|-------------------------------------|------------------|
| Kaiserstuhl à Dortmund | 22 ^{m3} |
| Gemeinschaft (courant II) | 36 |
| " (Unterwenthbau) | 10 |
| " (courant I) | 56 |
| Ath. Gouley | 67 |

Ces nombres sont la moyenne d'observations faites consécutivement pendant un mois.

M. Chesneau ⁽¹⁾ a fait en 1888 les observations suivantes :

Mines d'Anzin, fosse Herin, veine Voisin couchant : 39^{m3}

Des expériences entreprises récemment aux mines de Ronchamp, puits du Magny, ont donné 25^{m3}, par tonne de houille.

Il peut être intéressant de rapprocher de cette quantité de gaz celle qui reste encore emprisonnée dans les fragments de houille au moment où ils sortent de la mine. Ce gaz se dégage peu à peu à l'air et occasionne parfois des accidents sur

(1) CHESNEAU. — De l'influence des variations de la pression atmosphérique sur le dégagement du grisou. (*Annales des Mines*. Mai, juin, 1888).

les navires où l'on a embarqué de la houille fraîchement extraite.

Les nombres suivants sont empruntés à un travail de M. de Marsilly (1) sur les charbons belges.

| Provenance des houilles | mètres cubes par tonne de houille |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Mine du Grand-Hornu | 1,15 |
| " Flénu | 1,67 |
| " Escouffiaux | 2,86 |

Dans les expériences qui ont été citées plus haut de W. Thomas du pays de Galles, les volumes de gaz obtenus ont été :

| Nature des houilles | Provenance | mètres cubes de gaz par tonne |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Bitumineuse . . . | Mine de Rhondda . | 0m ³ ,550 |
| Houille à vapeur . | " de Bute Merthyr | 1, 950 |
| " | " | 3, 75 |
| Anthracite. . . . | Mine de Watneys Danelly | 18, 75 |

Les trois premiers chiffres seraient trop faibles;

(1) *Annales des Mines*, 5^e série t. XII, p. 357.

l'extraction était incomplète parce que le vide n'avait pas été assez prolongé et fait à une température trop basse. L'anthracite dans les mêmes conditions n'avait donné que 6^{m^3} au lieu de 18^{m^3} . Il faudrait donc tripler environ les trois premiers chiffres pour se rapprocher de la réalité.

On peut rappeler comme terme de comparaison que les houilles à gaz en se décomposant par la distillation dégagent 300^{m^3} de gaz. Ce gaz renferme près de la moitié de son volume d'hydrogène libre. Son volume serait réduit à 200^{m^3} s'il ne s'était formé que du protocarbure d'hydrogène. La mine d'Ath Gouley a donné 67^{m^3} de grisou par tonne soit le $\frac{1}{3}$ de 200^{m^3} . Le grisou renferme donc une fraction notable de l'hydrogène des matières végétales qui ont donné naissance à la houille.

6. Dégagement normal du grisou. —

Le dégagement du grisou est un phénomène extrêmement variable; ici il suinte d'une façon uniforme sur toute la surface du charbon mis à nu, là il se dégage plus abondamment des bancs de schiste ou de grès qui forment le toit et le mur de la couche. De temps en temps l'ouverture d'une cavité pleine de grisou donne passage à un jet de gaz que l'on appelle *soufflard*. Accidentellement des éboulements considérables du

toit, ou la pulvérisation spontanée de grandes masses de houille donne naissance à ces *dégagements instantanés* qui constituent le plus redoutable danger des mines de houille, le seul contre lequel il soit impossible de se prémunir à coup sûr.

Toutes ces particularités du dégagement du grisou, sont, comme l'a établi M. Mallard, la conséquence immédiate de son mode de gisement. Ce gaz comprimé sous des pressions considérables s'écoule vers les points de moindre pression avec une vitesse qui dépend et de sa pression initiale et de la résistance plus ou moins grande que lui opposent les passages par lesquels il doit s'écouler.

Le dégagement normal est celui qui se produit par suintement sur tout le front de taille du massif de houille et sur les surfaces mises à nu du toit et du mur de la couche. Il varie d'un point à l'autre suivant la quantité de grisou accumulée dans les roches, suivant leur perméabilité et surtout suivant le nombre et la profondeur des fissures naturelles ou des cassures qui traversent ces rochers. Ce dégagement très rapide au début diminue progressivement, si les surfaces ne sont pas renouvelées, et finirait par s'anuler, en théorie au bout d'un temps indé-

lini, en pratique au bout d'un temps limité mais sans doute beaucoup plus long que l'on ne le suppose souvent.

Pour ce motif on admet souvent que la majeure partie du grisou se dégage au front de taille ou dans son voisinage immédiat dans ce que l'on appelle les travaux neufs, que l'apport résultant du dégagement produit dans les travaux plus anciens est une quantité très faible vis-à-vis de la première. Mais l'expérience ne semble pas confirmer cette manière de voir.

Il est bien certain théoriquement que la mise à nu de nouvelles surfaces amène un accroissement du dégagement du grisou par ces surfaces ; mais si le dégagement dû à ces surfaces est faible vis-à-vis de celui de tout le reste de la mine, son accroissement ne représentera qu'une quantité négligeable. Toutes les mesures faites sur le dégagement du grisou semblent indiquer que c'est bien ainsi que les choses se passent. On n'a jamais trouvé de différence dans le dégagement du grisou le matin avant le travail ou l'après-midi au moment de l'exploitation la plus active ; le dimanche jour de repos ou les jours de la semaine. Il faut que l'exploitation soit suspendue pendant plusieurs semaines pour que le dégagement du gaz commence à se ralentir.

Voici quelques chiffres empruntés aux travaux de la Commission prussienne ⁽¹⁾ du grisou qui a fait sur ce sujet les recherches les plus étendues que l'on possède actuellement.

Le premier tableau donne en mètres cubes la quantité moyenne de grisou dégagé par minute le matin avant le travail, à midi pendant le travail et le soir après la fin du travail. Ces nombres ont été déduits des résultats de cinq jours d'observations :

| Mines | Matin | Midi | Soir |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Gemeinschaft (courant II). | 5m ³ ,22 | 5m ³ ,16 | 5m ³ ,16 |
| " (Meister). | 0, 83 | 0, 92 | 0, 87 |
| Ath. Gouley (courant I) . | 1, 82 | 1, 75 | 1, 71 |

D'après ces chiffres l'influence de l'abatage est rigoureusement nulle.

Le deuxième tableau donne les résultats comparés des observations du dimanche et des jours de la semaine :

| Mines | Dimanche | Semaine |
|--------------------------------|----------|---------|
| Ath. Gouley (courant I) . . . | 1,62 | 1,66 |
| Gemeinschaft (courant II). . . | 4,47 | 4,74 |

(1) Voir note de la p. 23.

L'influence du repos du dimanche est aussi rigoureusement nulle.

Le 3^e tableau donne la quantité de grisou et la quantité de houille extraits mensuellement d'un quartier de la mine Kaiserstuhl :

| Mois | Mètres cubes de grisou | Tonnes de houille |
|--------------------|---------------------------|----------------------|
| Décembre | 20000 | 1 00 |
| Janvier | 20000 | 7 ⁵ 0 |
| Février | 18000 | 700 |
| Mars | 23000 | 990 |
| Avril | 22000 | 600 |
| Mai | 17000 | 450 |
| Juin | 19000 | 8 ⁵ 0 |
| Juillet | 18000 | 1300 |
| Août | 18000 | 1400 |

Ici encore des variations considérables et longtemps prolongées dans l'activité de l'exploitation n'ont amené que des modifications peu marquées dans le dégagement du grisou. Enfin dans des expériences récemment faites au puits du Magny des mines de Ronchamp j'ai constaté qu'après un mois d'arrêt total de l'exploitation le dégagement du grisou n'était pas tombé à moitié de sa valeur primitive; il s'était seulement réduit de 3^m³,6 par minute à 2^m³,1.

Des résultats analogues quoique moins complets avaient été obtenus antérieurement par différents observateurs en France et en Angleterre. La constance du dégagement du grisou le dimanche et les jours de la semaine avait été reconnue par M. Castel ⁽¹⁾ aux mines de Firminy, par M. Chesneau ⁽²⁾ aux mines d'Anzin et par M. Liveing ⁽³⁾ à la mine de Bolden (Angleterre).

L'ensemble de ces résultats conduit donc à admettre, au moins pour les couches minces, les seules qui aient été étudiées jusqu'ici, que la quantité supplémentaire de gaz qui se dégage au moment de l'abatage est une quantité complètement négligeable par rapport au dégagement total qui se produit dans l'ensemble de la mine.

Il est impossible actuellement de déterminer l'âge des travaux qui jouent le plus grand rôle dans le dégagement du grisou.

Les vieux travaux continuent pendant des années à dégager du gaz ; le dégagement au mètre

(1) *Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou*, 2^e fascicule, pag. 1.

(2) *Annales des mines*, mai, juin 1888.

(3) *Final report of her Majesty's commissioners*. Ap. III p. 141, 1886.

carré superficiel est certainement très faible, mais comme le nombre de ces mètres carrés est énorme, le dégagement total peut dans certains cas être important. Des expériences faites au puits de Magny, mine de Ronchamp, m'ont montré que des vieux travaux remblayés, âgés de 3 ans, dégagèrent encore 20^{m^3} de grisou par hectare et par 24 heures. L'opinion très répandue qui n'attribue qu'une influence négligeable aux vieux travaux, pourrait bien être complètement erronée; cela semble résulter de quelques observations faites à la mine d'Ath Gouley (1) dans laquelle le gaz sortant des vieux travaux représenterait plus de la moitié du dégagement total. C'est là, en tout cas, pour la sécurité des mines, une question d'une importance capitale qui mériterait d'être sérieusement étudiée.

7. Dégagements brusques. — Les dégagements anormaux du grisou par soufflard, ou dislocation brusque de la houille et des roches encaissantes ne représentent généralement qu'une partie minime du dégagement total. Ils

(1) BURNING. — The Pieler lamp, and modes of indicating the présence of small quantities of fire Damp in Mines.

(North of England institute of Mining engineers, vol. XXX, p. 163, 1880).

n'en ont pas moins une importance considérable au point de vue de la sécurité parce qu'en raison de leur irrégularité, il est difficile de se prémunir contre eux.

Le plus fréquent des dégagements anormaux est celui qui se produit par les *soufflards*. Ce dégagement comprend en général deux périodes bien distinctes mais d'importance très inégale : la première correspondant au moment de l'ouverture de la poche où le gaz est renfermé, donne lieu à un dégagement instantané ou au moins très rapide résultant de la détente du gaz comprimé ; si cette détente n'est pas toujours instantanée c'est que souvent la cavité où se trouve le gaz est formée par un système de fissures du terrain plus ou moins étroites à travers lesquelles l'écoulement du gaz éprouve une certaine résistance. Quand cette première période qui dure au plus quelques heures est terminée, commence la seconde période correspondant à un dégagement moins abondant du gaz, mais qui se prolonge très longtemps, parfois un grand nombre d'années ; ce dégagement est alimenté par le grisou renfermé dans les terrains (charbon ou roche) qui forment les parois de la cavité. Le grisou était primitivement en équilibre de pression dans la cavité et les terrains encaissants. Une

fois cette dernière revenue à la pression atmosphérique, un nouvel équilibre tend à s'établir qui amène l'écoulement du gaz comprimé dans la paroi du terrain.

On conçoit que les intensités relatives de ces deux périodes d'existence d'un soufflard doivent être extrêmement variables. L'ouverture d'une poche sphérique donnera un dégagement instantané très abondant et presque rien ensuite à cause du faible développement des surfaces de suintement, au contraire une fissure très mince et très étendue ne donnera pour ainsi dire pas de dégagement instantané, mais un dégagement ultérieur très abondant et très longtemps prolongé. De même l'importance absolue des soufflards varie dans des limites extrêmement étendues. Au moment de l'abatage de la houille, les plus petites fissures mises à jour donneront naissance à des soufflards minuscules qui n'auront qu'une faible durée d'existence et dont le débit se confondra avec le suintement plus rapide de la tranche mise à nu. Par contre, il existe des soufflards géants dont le gaz est parfois assez abondant pour être canalisé et employé à l'éclairage. Les grands soufflards correspondent soit à des failles traversant une forte épaisseur du terrain houiller soit à des bancs de roches fissurés pa-

rallèles à une couche de houille qu'ils drainent à grande distance. Les plus importants ont été observés en Angleterre, en voici quelques exemples :

En 1765, à la mine de Whiteshaven, un soufflard amené au jour par une canalisation eut un débit assez considérable pour qu'il fût question de l'utiliser à l'éclairage des rues de la ville.

En 1830, à la mine de Walls-End, un soufflard canalisé jusqu'au jour et allumé pour se débarrasser du gaz débitait $3^m^3,6$ par minute. Il continua à brûler ainsi pendant plusieurs années.

En 1860, le creusement d'un puits à la mine de Garswood fut interrompu par le dégagement d'un énorme soufflard. Après sa canalisation jusqu'au jour il fut allumé et brûla pendant neuf années consécutives jusqu'à ce qu'il fût utilisé pour des expériences sur les lampes de sûreté. Sa flamme se voyait dans un rayon de dix milles et éclairait suffisamment pour le travail de nuit.

Enfin il existait en 1880, à la mine Llwynypia, un soufflard considérable qui, de même que le précédent, servait à l'éclairage et fut utilisé par la Commission anglaise du grisou pour des expériences sur les lampes de sûreté. Il se dégageait dans le puits à la rencontre d'un banc de grès occupant le sommet d'une série de couches de charbon.

Un second mode de dégagement instantané analogue à certains points de vue aux soufflards mais beaucoup plus rare qu'eux est le *sudden outburst* des mines anglaises (1). Il diffère du soufflard en ce que la fissure qui donne passage au gaz au lieu de préexister dans le terrain se produit brusquement par le fait même de l'exploitation. Ce genre d'accident n'est guère connu qu'en Angleterre où il doit son origine à la présence fréquente, au voisinage des couches exploitées, de niveaux grisouteux très perméables séparés par des bancs très durs et imperméables, dont la rupture met en communication ces niveaux avec les galeries de la mine. Ces ruptures sont facilitées par les méthodes d'exploitation anglaises qui n'emploient jamais des remblais rapportés.

Il existe une troisième catégorie de *dégagements instantanés* auxquels cette dénomination est plus particulièrement réservée. Ils diffèrent des *outburst* en ce qu'ils proviennent du massif vierge du charbon et jamais des roches encaissantes ; ils sont accompagnés d'une projection de charbons menus qui viennent remplir en

(1) AGUILLON ET PÉNOLET. — *Exploitation des mines à grisou en Angleterre*, p. 51. (Rapport de Mission présenté à la Commission française du grisou).

partie les vides en arrière du front de taille, ensevelissant parfois les ouvriers qui n'ont pas le temps de se sauver. Ces dégagements ont principalement été observés jusqu'ici en Belgique.

Ils sont plus rares en France où ils ont été pourtant constatés d'une façon certaine dans une des couches des mines de Bessèges; ils sont beaucoup plus rares encore en Angleterre. Les dégagements instantanés de cette nature se produisent toujours en des points où la houille est très tendre et présente la structure particulière désignée suivant les pays par les termes « fusain, houille daloide, danty coal ». Ils résultent de la désagrégation, de l'explosion de la houille sous la pression interne du grisou qui y est accumulé. En général, la variation de pression dans le massif de houille depuis la surface libre est assez lente pour que le bloc de houille poussé vers l'extérieur par la pression interne présente d'assez grandes dimensions pour être maintenu en place par son adhérence contre le toit et le mur. Mais si pour un motif accidentel quelconque la zone de pression maxima se rapproche de la surface libre l'équilibre pourra être détruit et la masse de houille se brisera. A partir de ce moment, les tranches du massif de houille en contact avec l'atmosphère renfermeront du gaz

à une pression élevée qui pourra provoquer l'explosion de la houille partout où elle sera assez tendre. Les circonstances qui peuvent produire ce rapprochement de la zone à fortes pressions seraient un écrasement de la couche par une pression du toit, un fendillement à grande profondeur dû à l'emploi des explosifs, l'ouverture d'un soufflard plein de gaz comprimé, la perforation d'un trou de sondage ou un avancement trop rapide du front de taille résultant d'une exploitation intensive.

Voici quelques exemples de ces dégagements instantanés :

En Belgique, les deux mines de l'Agrappe et de Marcinelle sont particulièrement connues par leurs dégagements instantanés. La première a été le 17 avril 1879, le siège d'un accident mémorable dû à un dégagement de cette nature d'une intensité tout à fait exceptionnelle. Le volume de grisou dégagé a été évalué à plus de 100000 mètre cubes et celui de la houille projetée a été de 420 tonnes. Le gaz vint s'allumer au jour à l'orifice du puits d'extraction et brûla pendant plusieurs heures en donnant une flamme de plus de 50 mètres de hauteur. Un grand nombre de dégagements semblables se sont produits à la même mine, mais avec une intensité moins

dre. Le 29 juillet 1864, il se produisit un dégagement accompagné de la projection de 150 tonnes de charbon fin qui ensevelirent deux ouvriers ; trois autres qui se trouvaient dans le même chantier furent asphyxiés par le grisou. Dans les six premiers mois de l'année 1880, on releva, à la même mine, huit dégagements instantanés bien caractérisés dont le plus important projeta vingt tonnes de charbon.

L'importance relative de ces trois modes de dégagements instantanés est très inégale. Les soufflards ou cassures sont de beaucoup les plus fréquents ; il n'y a pas de mines où il ne s'en rencontre de temps en temps grands ou petits ; ils font presque partie du dégagement normal du grisou. Les dégagements instantanés proprement dits accompagnés de pulvérisation du charbon sont beaucoup plus rares ; ils ne se produisent qu'en des points particuliers de couches de houille déterminées et toujours les mêmes ; ils ne sont à craindre que pendant les travaux de traçage. Enfin les sudden outburst plus rares encore ne se produisent comme les précédents que dans certaines couches particulières possédant dans leur voisinage des niveaux grisouteux abondants et très perméables ; mais, contrairement à ces derniers, ils ne se produisent

que dans les travaux de défilage. Ces deux derniers modes de dégagement sont heureusement beaucoup plus rares que tendraient à le faire croire certaines statistiques qui rapportent aux dégagements instantanés tous les accidents de grisou dont la cause immédiate n'a pu être établie.

8. Influences météorologiques sur le dégagement de grisou. — On a cherché à diverses reprises à établir une relation entre les variations de la pression atmosphérique et la rapidité du dégagement du grisou. La possibilité d'une semblable influence est en contradiction avec les lois physiques les mieux établies ; une variation de pression de quelques centièmes d'atmosphère ne peut avoir aucune influence appréciable sur l'écoulement d'un gaz comprimé primitivement à plusieurs dizaines d'atmosphères. Pour soutenir l'exactitude des opinions émises au sujet de l'influence des variations barométriques, il faudrait au moins apporter des observations précises et nombreuses tandis que l'on n'a jamais pu invoquer que des on-dit plus ou moins vagues. Toutes les observations précises faites sur ce sujet et en particulier les recherches récentes de la Commission autrichienne du grisou ont au contraire montré l'absence d'aucune influence semblable.

Pour comprendre le crédit dont a joui la théorie du baromètre, il faut songer à l'existence de certains facteurs d'ordre moral qui n'ont rien à voir avec l'exactitude scientifique. Lorsqu'un directeur de mines après un accident est poursuivi devant les tribunaux et qu'il croit, à tort ou à raison, n'avoir rien à se reprocher, il cherche naturellement à expliquer l'accident soit par l'imprudence d'un de ses ouvriers, soit par l'intervention d'une cause naturelle dont il ne puisse être responsable. Le baromètre évidemment offre pour cet usage toutes les qualités désirables. C'est pour ce motif que pendant un certain temps tous les accidents furent attribués aux influences atmosphériques. Une fois la théorie du baromètre trop démodée pour être utilement mise en avant, on eut recours à l'intervention des poussières. Aujourd'hui ce sont les dégagements instantanés qui ont remplacé poussières et baromètre en attendant qu'ils soient remplacés à leur tour par une autre cause irresponsable après avoir été usés par un emploi trop abusif. Il est bien certain que les dégagements instantanés existent et ont causé des accidents, mais ils sont heureusement fort rares, de même les variations barométriques peuvent avoir une influence sinon sur le dégagement du grisou,

au moins sur son mode d'accumulation, mais cette influence même dans ce dernier cas, qui n'est pas envisagé ici, est toujours très faible.

9. Accumulation du grisou. — Le grisou, une fois dégagé de la houille n'est pas immédiatement entraîné en dehors de la mine, il y circule nécessairement pendant un certain temps et peut même s'accumuler en certains points où il ne circule plus ou du moins ne le fait que très lentement. Ces accumulations jouent un rôle prépondérant dans la plupart des accidents de grisou ; les dégagements instantanés mis à part, il est toujours possible de faire arriver dans la mine une quantité d'air assez considérable pour que, uniformément mêlé au grisou, il lui enlève la possibilité de brûler. Mais il n'est pas toujours facile de réaliser ce mélange d'une façon convenable dans toute l'étendue de la mine, et il arrive qu'en certains points où le grisou se dégage régulièrement tandis que l'air n'arrive qu'en quantité insuffisante, il se forme des réserves de mélange explosif auxquelles la moindre imprudence pourra communiquer le feu. Il ne faut pas oublier d'ailleurs qu'un puits très grisoueux peut dégager jusqu'à 10000 mètres cubes de grisou par 24 heures et qu'il suffit d'une

accumulation de 10 mètres cubes de ce gaz pour amener une explosion épouvantable.

Les conditions les plus habituelles dans lesquelles les accumulations de grisou se produisent seront étudiées en traitant des moyens à employer pour prévenir les accidents. Tandis que le dégagement du grisou est une fatalité qu'il faut accepter, son accumulation locale dans la mine en quantité un peu importante est au contraire le résultat exclusif des méthodes d'exploitation employées, c'est-à-dire que dans une mine bien tenue, il se dégage autant de grisou que dans une mine mal dirigée, mais dans la première le grisou reste invisible et est inoffensif. C'est la nature qui produit le dégagement du grisou, mais c'est la volonté ou plutôt la négligence humaine qui produit son accumulation dans la mine.

CHAPITRE II

—

PROPRIÉTÉS DU GRISOU

10. Propriétés physiques. — Les propriétés du grisou sont celles du protocarbure d'hydrogène dont il ne diffère pas, ainsi que cela a été établi au début de cette étude.

Le poids spécifique ou poids du litre mesuré à 0° et 760 millimètres est de 0^{sr},717.

Le grisou est un gaz permanent, c'est-à-dire qui ne peut prendre l'état liquide à la température ordinaire, même sous des pressions très élevées. Son point critique est en effet situé d'après les expériences de Dewar à une température de — 100° et correspond à une pression de 50 atmosphères.

Ce gaz est peu soluble dans l'eau qui en dissout seulement à la température ordinaire un volume de 35 centimètres cubes par litre. Le volume du gaz est supposé mesuré sous la pression qu'il supporte au moment de sa dissolution.

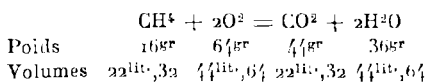
Le grisou est incolore et passe généralement pour inodore ; dans quelques mines cependant comme celle de Ronchamp, il présente une légère odeur éthérée, due peut-être à la présence d'impuretés, qui suffit pour le faire reconnaître, dès que sa proportion dans l'air est un peu notable.

Il ne possède aucune propriété toxique ; mêlé en grande quantité à l'air il peut provoquer l'asphyxie, mais seulement comme le ferait un excès d'azote en diluant trop fortement l'oxygène.

11. Propriétés chimiques. — En dehors de sa combinaison avec l'oxygène ou combustion qui fera l'objet d'une étude détaillée, le grisou ne se combine guère directement qu'au chlore et au brome en donnant soit des produits de substitution : chlorure de méthyle, etc., soit de l'acide chlorhydrique et du charbon. Mais, comme pour l'oxygène, cette réaction doit être provoquée par une élévation de température ou

tout au moins dans le cas du chlore par l'action de la lumière. Le protocarbure d'hydrogène comme tous les carbures saturés manifeste très peu de tendance à entrer en réaction chimique, d'où le nom de *paraffines* que l'on donne souvent à cette catégorie de corps. C'est en raison de cette absence d'affinité chimique que toutes les tentatives faites pour trouver des absorbants du grisou ont échoué et il paraît à peu près impossible que de nouvelles tentatives dans la même voie aboutissent jamais.

12. Combustion du grisou. — La combustion complète du protocarbure d'hydrogène exige deux fois son volume d'oxygène et par suite dix fois son volume d'air



La combustion, l'eau restant gazeuse, se fait sans changement de volume. Après la condensation de l'eau la contraction est égale au double du volume du gaz combustible.

La quantité de chaleur dégagée dans cette réaction, rapportée au poids moléculaire du gaz soit 16^{gr} est de 188 grandes calories.

Les températures de combustion du mélange

d'air et de grisou dans les proportions voulues pour la combustion totale sont :

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| <i>A volume constant</i> | <i>A pression constante</i> |
| 2150° | 1850° |

Les pressions absolues développées par la combustion en vase clos des mélanges en proportion variable d'air et de grisou sont d'après les expériences de MM. Mallard et Le Chatelier les suivantes :

| | | | | | | |
|---|------|-----|------|------|-----|------|
| Proportion de C ² H ⁴ sur 100 vol. de mélange. | 6,7 | 7,9 | 9,6 | 10 | 11 | 12,3 |
| Pression en kilogr. . . | 6,95 | 8,4 | 8,95 | 9,05 | 8,8 | 8,5 |

13. Température d'inflammation. — La température d'inflammation du grisou a été trouvée par MM. Mallard et Le Chatelier de 650°. Aux températures plus basses à partir de 450°, il commence à se produire une combustion lente sans flamme qui est plus ou moins active suivant la nature de l'état physique du corps au contact du mélange gazeux. Les corps poreux, la mousse de palladium particulièrement, activent beaucoup cette combustion lente et peuvent la rendre sensible dès 200°. Mais l'inflammation du grisou présente une particularité capitale qui ne semble pas se retrouver chez les autres

gaz combustibles, au moins à un degré comparable. Tandis que les mélanges formés par l'hydrogène, l'oxyde de carbone s'enflamment aussitôt qu'ils sont portés à la température convenable, ceux dans lesquels le protocarbure d'hydrogène est l'élément combustible n'entrent au contraire en combustion vive que lorsqu'ils ont été maintenus pendant un certain nombre de secondes à une température égale ou supérieure à leur température d'inflammation. Ce retard à l'inflammation peut s'élever à une dizaine de secondes aux environs de 650°. Il diminue à mesure que s'accroît la température à laquelle on porte les gaz et n'atteint plus une seconde à 1000°.

L'inflammation du grisou dépend donc de deux facteurs distincts, la *température* et le *temps* d'échauffement dont chacun doit être d'autant plus considérable que l'autre est plus faible.

14. Limites d'inflammabilité. — Les mélanges en proportion quelconque chauffés dans leur totalité à 650° brûlent complètement; mais dans les conditions habituelles d'inflammation, le mélange gazeux est à la température ordinaire et une *région limitée* est seule échauffée par la source de chaleur employée pour provoquer l'inflammation. On dit alors que le mélange est in-

flammable ou non suivant que l'inflammation portée ainsi en un point, se propage de proche en proche dans toute la masse ou s'éteint.

Les seuls mélanges inflammables de grisou et d'air sont ceux dans lesquels la proportion de gaz inflammable sur 100 de mélange est comprise entre :

$$6 \text{ ‰} \quad \text{et} \quad 16 \text{ ‰}$$

L'élévation préalable de température de la masse gazeuse étend les limites d'inflammabilité jusqu'à 650° où tous les mélanges doivent être combustibles.

15. Vitesse de propagation de la flamme.

— L'inflammation provoquée en un point d'un mélange gazeux combustible se propage avec une vitesse qui dépend d'un grand nombre de conditions différentes : *proportion des gaz mêlés, repos ou agitation du mélange gazeux, température du mélange, voisinage de corps solides froids.*

La Commission française du grisou s'est efforcée, par de nombreuses expériences, de mettre en évidence l'influence de ces diverses circonstances, auxquelles est intimement lié le degré de sécurité procuré par les lampes.

La vitesse de propagation varie d'abord avec la *proportion de grisou* contenue dans le mélange ; sensiblement nulle aux deux limites ex-

trêmes de combustibilité, elle passe par un maximum qui ne correspond pas comme on aurait pu le penser, au mélange à combustion complète, mais bien à un mélange renfermant un certain excès de gaz combustible. La vitesse la plus grande observée a été de 0^m,60 par seconde.

| | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Proportion de C ² H ⁴ dans | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 100 vol. de mélange . . . | | | | | | |
| Vitesse en mètres. | 0,04 | 0,22 | 0,42 | 0,60 | 0,37 | 0,08 |

Dans les mélanges à excès d'oxygène la substitution d'azote à l'oxygène qui est en sus de celui nécessaire à la combustion n'altère pas la vitesse de propagation ; l'acide carbonique au contraire abaisse notablement cette vitesse.

Les chiffres précédents s'appliquent à des mélanges en repos, les vitesses sont changées du tout au tout par l'*agitation* de la masse gazeuse en combustion. Les mélanges les plus lents peuvent donner lieu à des propagations pour ainsi dire instantanées, c'est-à-dire à de véritables explosions, quand on provoque au moment de l'inflammation une agitation très vive, telle que celle que l'on obtient en faisant dégager au milieu d'une masse gazeuse en repos un jet de gaz animé d'une grande vitesse. C'est là l'explica-

tion de la production des explosions de grisou dans les mines. Si la vitesse de propagation ne dépassait jamais $0^m,60$, les effets mécaniques seraient toujours nuls et les ouvriers pourraient se sauver devant la flamme.

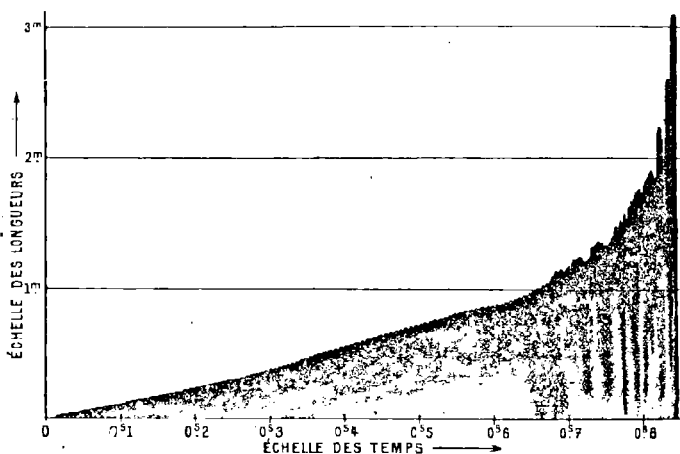
Il n'a pas été fait d'expériences précises sur les vitesses qui peuvent ainsi se développer. On sait seulement qu'au laboratoire, dans des petits tubes de $0^m,03$ de diamètre et 2 mètres de longueur on peut obtenir des vitesses supérieures à 20 mètres par seconde. C'est peut-être par centaines de mètres qu'il faut compter les vitesses extrêmes réalisables dans les explosions de grisou.

L'agitation spontanée de la masse gazeuse en combustion n'est pas un phénomène exceptionnel, c'est au contraire la règle. Pour éviter seulement partiellement sa production dans les expériences de laboratoire, il faut prendre des précautions toutes spéciales.

16. Enregistrement des vitesses de combustion. — Toutes les particularités que présente la combustion des mélanges gazeux peuvent avec le grisou être observées à la vue simple, c'est-à-dire d'une façon purement qualitative; les mesures précises sont impossibles. Mais il existe un mélange combustible, celui de

sulfure de carbone et de bioxyde d'azote qui, grâce aux propriétés photogéniques de sa flamme, permet l'enregistrement photographique de la propagation de cette flamme. Les phénomènes sont tout à fait semblables à ceux du mélange de

Fig. 1



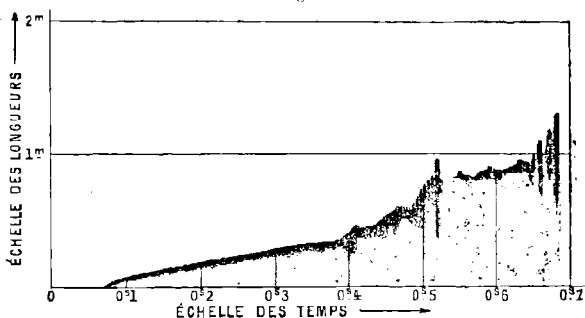
grisou et d'air avec cette seule différence qu'ils peuvent donner parfois naissance à l'onde explosive, mais assez difficilement.

Les *fig. 1, 2 et 3* sont les reproductions de photographies obtenues avec ce mélange gazeux. Le tube parcouru par la flamme est pro-

jeté au moyen d'un objectif photographique suivant la génératrice d'un cylindre tournant recouvert d'un papier sensible au gélatino-bromure. Les ordonnées des figures représentent les chemins parcourus par la flamme et les abscisses, les temps.

La *fig. 1* représente la combustion dans un tube de 3 mètres de longueur, l'inflammation étant

Fig. 2

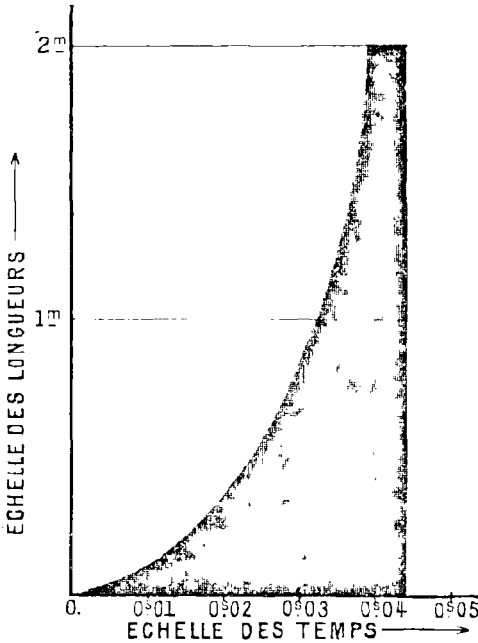


portée près de la partie ouverte. On voit que la vitesse d'abord uniforme et égale à $1^m,50$ par seconde s'accroît rapidement à mesure que l'amplitude des mouvements vibratoires augmente.

La *fig. 2* représente la même expérience répétée dans un tube de 1 centimètre de diamètre et de même longueur que précédemment. La flamme s'est éteinte après avoir parcouru le

premier tiers du tube, quand le mouvement vibratoire eut pris une intensité convenable. Une première extinction presque complète, puisque

Fig. 3



l'impression photographique a cessé momentanément, s'était produite un peu auparavant à la suite d'une première période de grandes vibrations.

La *fig. 3* représente la propagation de la combustion dans le cas où l'inflammation est portée contre l'extrémité fermée du tube. On voit immédiatement l'accélération énorme que prend la flamme par le redressement très rapide de la courbe qui a cependant été obtenue, comme le montre l'échelle des temps, avec une vitesse de déroulement du papier sensible cinq fois plus grande que dans les expériences précédentes. La vitesse atteinte au moment de la sortie de la flamme du tube a été voisine de 400 mètres par seconde, quand la vitesse normale n'est cependant que de 1^m,50 par seconde.

17. Influence des parois froides. — Les corps froids tels que les parois des tubes exercent une très grande influence sur la propagation des flammes. Celles-ci s'éteignent jusqu'à une certaine distance de la paroi, très petite il est vrai, par suite du refroidissement qu'elles éprouvent. En regardant sous une incidence rasante une surface plane frappée par une flamme, on aperçoit une zone sombre où il ne se produit aucune combustion. Ce fait signalé depuis longtemps avait fait dire que les corps froids repoussent les flammes. L'épaisseur de cette zone est d'autant plus considérable que le mélange gazeux est plus près de sa limite de combustibilité; elle

peut atteindre dans certains cas 1 millimètre. Cette influence refroidissante se fait sentir également dans la partie du mélange où la combustion est encore possible; la température y est abaissée d'autant plus que l'on se rapproche davantage de la région sans combustion; mais cette influence décroît très rapidement avec la distance, de telle sorte qu'à deux centimètres de la paroi, même dans les mélanges les plus pauvres, l'influence refroidissante devient négligeable et la vitesse de propagation y conserve encore sa valeur normale. Dans les tubes de cinq centimètres de diamètre, la propagation de la flamme se fait pour les mélanges de grisou dans les mêmes conditions que si la section libre du tube était indéfinie. Dans les tubes plus étroits la vitesse normale de propagation est ralentie et finit même par s'annuler avec extinction de la flamme pour des diamètres suffisamment petits. Les expériences sur le mélange de grisou et d'air à 11 % de gaz combustible ont donné les résultats suivants :

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Diamètre du tube en } millimètres } | 50 | 12,2 | 9,5 | 8 | 5,5 | 3,2 |
| Vitesse de propagation } en mètres } | 0,50 | 0,47 | 0,41 | 0,39 | 0,22 | 0,00 |

Avec le diamètre de 3^{mm}, la flamme pénètre de 30 millimètres avant de s'éteindre lorsque le gaz est au repos. S'il est animé d'une certaine vitesse de translation, la pénétration de la flamme est accrue ou diminuée suivant le sens du mouvement.

Quand on diminue plus encore le diamètre des tubes, la longueur de pénétration de la flamme diminue et finit même par s'annuler avant que le diamètre du tube devienne lui-même nul. Cela tient à ce que la flamme, s'arrêtant à une certaine distance de la surface des corps froids, la pointe

Fig. 4



du petit cône qui se forme devant une ouverture percée dans une paroi mince, peut ne pas atteindre la surface elle-même (*fig. 4*).

C'est en s'appuyant sur l'observation de ces phénomènes que Davy fut conduit à la découverte des lampes de sûreté à treillis métallique.

18. Propriétés des toiles métalliques. — Les propriétés des toiles métalliques, qui sont mises en œuvre dans toutes les lampes de sûreté, découlent immédiatement de celles des tubes. Les toiles peuvent en effet être considérées comme une agrégation d'un grand nombre de

petits tubes juxtaposés dont la longueur et le diamètre seraient très faibles. Les principales dimensions des toiles métalliques employées pour la construction des lampes de sûreté sont résumées dans le tableau suivant :

| Différentes espèces de lampes | Nombre de mailles au centimètre carré | Diamètre des fils en millimètres | Diamètre des mailles en millimètres |
|--|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Dimensions données par Davy aux toiles de sa lampe | 121 | 0,32 | 0,59 |
| Anciennes Lampes Davy, du Gard et de Saint Etienne | 121 | 0,64 | 0,27 |
| Anciennes lampes Davy du Gard et du Pas de-Calais | 132 | 0,35 | 0,52 |
| Lampe Davy du Couchant de Mons (Belgique). | 156 | 0,25 | 0,55 |
| Dimensions données par Mueseler à sa lampe. | 210 | 0,25 | 0,44 |
| Lampe Mueseler réglée depuis 1851 | 196 | 0,33 | 0,38 |
| | 144 | 0,33 | 0,46 |
| | 196 | 0,25 | 0,46 |

Les dimensions adoptées aujourd'hui en France pour les lampes de sûreté ou tout au moins recommandées par l'administration, sont celles de la lampe Mueseler belge, soit 144 mailles au centimètre carré avec un fil de 0^{mm},33. Mais en dé-

finissant ainsi les toiles métalliques par le nombre des mailles au centimètre carré, on suppose expressément que toutes les mailles sont rigoureusement égales ; or, il n'en est pas toujours ainsi et pendant longtemps les lampes du bassin de Saint-Etienne, en France, ont été fabriquées avec des toiles très irrégulières dans lesquelles le diamètre des mailles variait d'un point à l'autre du simple au double. Dans ces conditions, la sécurité donnée par une semblable toile à 144 mailles n'est pas plus grande qu'avec une toile bien régulière de 36 mailles au centimètre carré. Il suffit en effet d'une seule maille trop large pour laisser passer la flamme ; il pourra y avoir des centaines de mailles régulières à côté sans que la sécurité soit rendue plus grande par leur présence. Il ne faut pas oublier non plus qu'à l'usage les fils des toiles s'amincissent et amènent une augmentation progressive de l'ouverture de la maille.

Le rôle des toiles métalliques dans les lampes consiste à refroidir suffisamment les produits de la combustion du mélange explosif qui s'est allumé à la flamme et brûle à l'intérieur pour que l'inflammation ne puisse se transmettre au mélange explosif qui entoure la lampe. Le degré de sécurité de ces toiles est donc fonction de deux variables indépendantes :

1° La quantité de chaleur qu'elles peuvent absorber dans l'unité de temps et diffuser par rayonnement ;

2° La quantité de chaleur fournie dans le même temps par la combustion du mélange gazeux.

Toute variation de l'une de ces grandeurs altérera la sécurité offerte par la toile métallique considérée. Les causes dont l'influence doit être étudiée avec le plus de soin à ce point de vue sont : *l'élévation de température des toiles*, la *nature du mélange combustible* et son *agitation*.

L'élévation de température des toiles diminue évidemment leur action refroidissante et augmente en même temps la vitesse de propagation de la flamme dans le mélange gazeux qui, placé à leur contact, se trouve en équilibre de température avec elles. A la température de 650°, c'est-à-dire au rouge sombre, les toiles métalliques, quelque fines qu'elles soient, ne suffiraient plus pour arrêter la flamme d'aucun des mélanges de grisou et d'air. Ceci bien entendu en supposant que la flamme arrive sur une toile métallique entourée de toute part de mélange combustible. Si à l'extérieur de la toile il n'y a que des gaz brûlés au lieu de mélange combustible, la température de la toile pourra évidemment être

plus élevée sans que l'inflammation se propage au dehors. Ces diverses circonstances se présentent dans l'étude des lampes de sûreté.

La nature du gaz combustible et les proportions dans lesquelles il est mêlé à l'air, ont une influence non moins grande sur la plus ou moins grande facilité avec laquelle une flamme peut traverser une toile donnée. Plus faible sera la vitesse de propagation, plus considérable sera la perte relative de chaleur et par suite plus facile sera l'extinction. Parmi les mélanges de grisou et d'air, le mélange à 11 % qui a une vitesse de 0^m,60 par seconde ne sera pas arrêté par des toiles qui arrêteront les mélanges à la limite de combustibilité. Les mélanges d'hydrogène ou de sulfure de carbone et d'air dont la vitesse de propagation peut dépasser plusieurs mètres par secondes, traversent à coup sûr toutes les toiles métalliques employées habituellement dans les lampes de sûreté.

L'agitation du mélange gazeux a une influence considérable sur la sécurité des toiles métalliques et par suite sur celle des lampes de sûreté; des circonstances trop nombreuses et trop variables pour être toutes prévues, peuvent, dans l'usage courant des lampes de sûreté, développer une certaine agitation. C'est là une ques-

tion qui, par son importance pratique, mérite une étude détaillée.

Si l'on reprend l'exemple précédent des tubes placés au milieu d'un mélange explosif et dans lesquels se propage la combustion et que l'on suppose que le mélange au lieu d'être en repos soit lui-même animé d'un mouvement de translation dirigé dans le sens de la propagation de la flamme, il est évident que le chemin parcouru par la flamme au bout de l'unité de temps sera la somme des vitesses de translation et de propagation ; cette dernière sera d'ailleurs plus grande que dans un mélange en repos en raison des remous occasionnés par le mouvement du gaz. Mais le refroidissement amené par le voisinage du tube est proportionnel au temps, la flamme pénétrera donc dans le tube pendant le même temps avant de s'éteindre, et par suite aura parcouru un chemin plus considérable qui lui suffira pour traverser un tube qui l'arrêtait dans un mélange en repos. Les dimensions des toiles métalliques suffisantes pour assurer la sécurité dans un mélange en repos seront insuffisantes dans un mélange en mouvement.

Les circonstances qui mettent en mouvement un mélange gazeux dans une lampe peuvent être extérieures à la lampe et indépendantes de son

fonctionnement : tels les courants d'air, l'agitation de la lampe ; cette agitation peut être provoquée encore par la combustion elle-même qui, en raison de la dilatation des gaz brûlés, pourra, dans certains cas, refouler le mélange non encore brûlé. Que l'on suppose, par exemple, l'inflammation provoquée à l'intérieur d'une capacité qui soit formée, partie par des parois pleines, partie par des toiles métalliques, l'écoulement se fera exclusivement par ces dernières et avec une vitesse d'autant plus grande que leur section utile sera moindre. Soit, par exemple, un cylindre à parois pleines dont une base seule soit fermée par une toile métallique, dans lequel on provoque l'inflammation en des points de plus en plus éloignés de la toile. Quand l'inflammation se fait tout près de la toile, la flamme arrive sur cette dernière avec une vitesse égale à celle de propagation ; c'est-à-dire qui est au plus de $0^m,60$. La flamme s'arrête alors et s'éteint sur la toile. Si l'inflammation a été portée plus bas, à une distance r de la toile, lorsque la flamme atteindra cette dernière, la surface en combustion sera une sphère de rayon r qui s'accroîtra avec une vitesse linéaire de 7 fois $0^m,60$, soit $4^m,20$, par suite de la dilatation des gaz brûlés. La vitesse d'écoulement à travers la toile

métallique s'obtiendra en multipliant ce chiffre par le rapport de la surface libre de la toile à celle de la sphère. La toile normale de 144 mailles au centimètre carré présente une surface libre égale à la moitié de la surface totale. Il en résulte, par un calcul très simple, que si l'inflammation est portée à une distance de la toile égale au rayon du cylindre, la vitesse d'écoulement sera de 30 mètres par seconde. Le seul fait de la combustion dans une enveloppe mi-close permet donc de réaliser des vitesses relativement énormes quand on les compare avec la vitesse normale de propagation de la flamme et qui suffisent largement pour amener le passage instantané des flammes à travers les toiles métalliques.

L'expérience montre qu'avec le gaz d'éclairage l'inflammation portée à la base d'un cylindre à parois pleines dont le diamètre égale la hauteur, traverse à tout coup une toile métallique de 144 mailles fermant la partie supérieure. A mesure que la longueur s'accroît, le passage se fait de plus en plus facilement en raison de l'accélération de la vitesse de propagation par le fait de l'agitation.

Après avoir traversé une toile métallique, le gaz, et par suite la flamme, éprouvent des re-

mous qui augmentent considérablement la vitesse de propagation. Ainsi une flamme ayant déjà traversé une première toile métallique, traversera encore plus facilement les autres toiles qui pourraient être placées sur son passage. Pour que deux toiles soient plus efficaces qu'une seule contre ces passages directs de la flamme, il faut qu'elles soient presque en contact, ou au moins très voisines, de sorte que leur action refroidissante se fasse sentir sur une même fraction du gaz en combustion et que l'abaissement de température de la flamme soit double de celui qu'aurait donné une toile simple. Dans le cas des toiles séparées, les abaissements de température ne peuvent pas s'ajouter puisqu'ils s'appliquent à des parties différentes du mélange gazeux. On ne peut contester cependant l'accroissement de la sécurité que donne aux lampes la superposition de plusieurs tamis, même séparés ; mais ce résultat est dû principalement à la plus difficile circulation du gaz qui gêne le renouvellement de l'atmosphère intérieure de la lampe : il se rattache à l'action des courants d'air extérieurs et à celle de l'agitation de la lampe dont il va maintenant être question.

Dans le mode de passage de la flamme qui vient d'être examiné, l'échauffement de la toile

par la combustion ne joue aucun rôle. La flamme en arrivant sur la toile la traverse ou s'éteint mais ne séjourne jamais à son contact et ne peut, par suite, l'échauffer. Elle la traverse seulement, d'autant plus facilement que cette toile était antérieurement plus chaude. Il est d'autres conditions dans lesquelles le mouvement des gaz peut provoquer l'échauffement d'une toile jusqu'au rouge et laisser ainsi passer des gaz brûlés assez chauds pour porter l'inflammation au dehors. Soit un cylindre en toile métallique semblable à un tamis de lampe Davy exposé à l'action d'un mélange gazeux lancé, suivant une direction normale à l'axe du cylindre. L'inflammation portée à l'intérieur du cylindre, soit par une flamme, soit par une étincelle électrique, se propagera jusqu'à la toile métallique sans la traverser tout d'abord, si la vitesse du mélange gazeux n'est pas trop forte. Elle subsistera sans s'éteindre au contact de la toile par laquelle pénètre le gaz, elle s'éteindra au contraire vers la sortie des gaz où il n'arrive plus que des gaz brûlés. Mais de ce côté la température de la toile s'élèvera progressivement jusqu'à une certaine limite, fonction à la fois de la vitesse de circulation des gaz et du rayonnement extérieur. Les gaz brûlés auront toujours une

température plus élevée que celle de la toile et l'écart sera d'autant plus considérable que la vitesse de circulation sera plus forte. La vitesse croissant, il arrivera un moment où les gaz sortants seront assez chauds pour enflammer le mélange combustible qui a circulé autour du tamis sans y pénétrer, et par suite sans brûler. D'après ce qui vient d'être dit, cette inflammation extérieure sera obtenue pour une température de la toile d'autant plus basse que la vitesse de circulation des gaz sera plus considérable. Aussi pour les vitesses suffisamment fortes, le passage arrive à être presque instantané.

Les expériences de la Commission française du grisou ont montré que la vitesse minima nécessaire pour projeter la flamme en dehors d'un cylindre de 1 centimètre de diamètre fait avec la toile de 144 mailles était de :

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grisou | 2 mètres. |
| Gaz d'éclairage | 0 ^m ,80. |

Aux vitesses de 5 mètres par seconde, le passage est sensiblement instantané pour le gaz d'éclairage.

Ces quelques données sur les toiles métalliques résument toute la théorie des lampes de sûreté.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CAUSES DES ACCIDENTS

19. Généralités. — Les études théoriques sur le dégagement du grisou et les conditions de son inflammation permettent de se faire une idée générale du mode de production des accidents ; mais elles ne suffisent pas à elles seules pour faire prévoir *a priori* toutes les circonstances qui peuvent se rencontrer dans la pratique ; elles permettent encore moins d'apprécier l'importance relative réelle des différentes causes de

danger. Il faut rapprocher ces études de l'observation directe des faits ; les accidents si nombreux qui se sont produits dans les mines de houille peuvent fournir des enseignements précieux. On serait même tenté de croire qu'il suffit d'ouvrir les statistiques des accidents pour être immédiatement renseigné d'une façon précise sur les causes qui les ont amenés. En réalité l'observation, en ce qui concerne les accidents de mines, est beaucoup plus difficile que l'expérimentation, et ces deux méthodes doivent être employées concurremment pour arriver à des résultats certains.

La difficulté dans l'observation, c'est-à-dire dans les enquêtes après accidents, provient dans bien des cas de ce que tous les témoins de la catastrophe sont morts ; c'est alors de la simple inspection des lieux qu'il faut tirer des déductions trop souvent hasardées. Si les témoins sont vivants, on est souvent trompé par le témoignage de gens qui ont intérêt à se disculper d'imprudences qui pourraient entraîner pour eux des responsabilités plus ou moins graves. Dans la majorité des cas, il est impossible de connaître avec certitude les causes premières d'un accident ; malheureusement, plutôt que d'avouer son ignorance, on se fait trop souvent un point d'honneur de trouver

coûte que coûte une explication qui est généralement le simple reflet des idées théoriques à la mode. C'est ainsi que de nombreux documents, qui par l'impression acquièrent une autorité définitive, viennent établir le rôle tour à tour prépondérant des variations barométriques, des poussières, des dégagements instantanés, des lampes insuffisamment protégées contre les courants d'air. Les statistiques sont donc incapables à elles seules de faire connaître les causes exactes des accidents, leurs enseignements doivent seulement être rapprochés de ceux que fournit l'expérimentation pour les corroborer et les compléter.

Un premier fait qui découle immédiatement des statistiques est relatif à l'importance des accidents de grisou qui est beaucoup moindre qu'on ne le croit souvent. Sur le nombre total des ouvriers tués dans l'exploitation des mines de houille, il n'y en a guère qu'un cinquième dont la mort soit due à des explosions de grisou et sur le nombre des ouvriers blessés la même proportion est dix fois plus faible encore. Les chutes de pierres, les accidents dans les manœuvres des cages et des wagonnets ne tuent pas beaucoup de monde à la fois, mais par leur répétition fréquente arrivent à un chiffre impor-

fant. Les chutes de pierres tombant du toit et l'éboulement du charbon entraînent deux fois plus de morts que les accidents du grisou et dix fois plus de blessures.

Voici pour différents pays la proportion d'ouvriers tués par le grisou sur 100 morts :

| Pays | Proportion p. 0/0 | Epoque |
|--------------------|-------------------|----------------|
| France | 20 | de 1880 à 1887 |
| Autriche | 22 | 1876 à 1880 |
| Angleterre | 23 | 1875 à 1884 |
| Belgique | 29 | 1851 à 1871 |

Si l'opinion publique se préoccupe beaucoup plus des accidents de grisou que des autres sources de danger inhérentes à l'exploitation des mines, c'est que ces accidents prennent trop souvent l'importance de véritables désastres tuant d'un seul coup plusieurs centaines d'ouvriers. Le plus grave qui se soit produit, celui de Oaks colliery (Yorkshire) le 12 décembre 1866 a amené la mort de 361 ouvriers.

20. Causes des accidents. — L'étude détaillée des accidents du grisou montre que tout accident est la conséquence de trois causes distinctes et indépendantes dont le concours simul-

tané est nécessaire. La connaissance précise de ces causes d'accidents et de leur importance relative est indispensable pour arriver, en les faisant disparaître, à supprimer les accidents de grisou ou tout au moins à en réduire le nombre.

Ces causes sont :

1° L'accumulation du grisou dans la mine en quantité suffisante pour donner naissance à des mélanges explosifs plus ou moins volumineux ;

2° L'inflammation du mélange explosif préalablement formé ;

3° L'action meurtrière de l'explosion sur les ouvriers. Trop souvent les ouvriers placés en dehors du champ d'action immédiat de l'explosion trouvent la mort comme ceux qui ont été brûlés ou tués par projection. C'est ainsi qu'à l'accident de Seaham (Durham), 8 septembre 1880, l'explosion ne tua directement que 4 ouvriers et en fit périr indirectement 160 en raison de certaines conditions particulières à l'exploitation de la mine qui auraient pu ne pas exister et par suite ne pas entraîner cette mortalité effrayante.

21. Causes d'accumulation du grisou. — Les diverses causes d'accumulation du gri-

sou doivent au point de vue de leur importance relative être rangées dans l'ordre suivant :

1° *Ventilation insuffisante ou mal dirigée.*
C'est là de beaucoup la cause la plus fréquente des accumulations de grisou. Dans les mines aérées naturellement, qui heureusement auront bientôt complètement disparu en France, il se produit à certaines époques de l'année des ralentissements et même des arrêts complets de la ventilation. Ce procédé d'aérage autrefois très répandu a été la cause de nombreux accidents, particulièrement à Blanzky et dans le bassin de Saint-Etienne. Dans les mines aérées mécaniquement, la suspension totale de l'aérage peut encore se produire par suite de l'arrêt du ventilateur résultant soit d'un accident aux machines, soit d'une simple négligence, ou par suite d'une obstruction accidentelle du puits. Plus fréquemment encore l'insuffisance de la ventilation dans les travaux résulte de la mauvaise direction de l'air dans la mine qui n'est pas conduit en quantité suffisante aux points où se dégage le grisou.

Cette insuffisance et cette mauvaise organisation de la ventilation ont été la cause immédiate des graves accidents qui sont venus, dans ces der-

nières années frapper à coups redoublés le bassin de Saint-Etienne.

2° *L'existence de vieux travaux insuffisamment remblayés et non ventilés* a été la cause d'un grand nombre d'accidents, particulièrement dans les mines anglaises qui ne sont jamais remblayées. Dans ces mines, chaque chute du toit renvoie dans les galeries et chantiers une bouffée d'air grisouteux qui se reconnaît au moins à la lampe dans le cas où il ne s'est pas produit d'accidents. En France, un certain nombre des grands accidents produits dans des mines réputées peu grisouteuses ont pu être occasionnés par des accumulations de grisou formées dans les vieux travaux, ou simplement dans les vides des remblais, puis chassées dehors soit sous l'action d'un coup de mine tiré au voisinage, soit par un affaissement rapide du toit, soit par une simple modification aux conditions normales d'aérage qui a fait varier la répartition de la pression aux divers points de la mine.

La troisième cause d'accumulation du grisou doit être rapportée à certains *dégagements anormaux* (soufflard, outburst, dégagement instantané) d'une intensité exceptionnelle et dont une ventilation normale ne peut annihiler complète-

ment l'effet. Ces dégagements, très rares et peu importants en France et en Allemagne, ne peuvent, dans ces pays être rendus responsables d'aucun grand accident ; il n'en est pas de même en Belgique et surtout en Angleterre où ils ont occasionné à plusieurs reprises de très graves explosions. La statistique des mines anglaises donne, pour les accidents au nombre de 43 qui, pendant la période 1870-1880, ont occasionné plus de 6 morts, les proportions relatives suivantes pour les diverses causes d'accumulation du grisou :

| | |
|---|-----|
| Ventilation insuffisante ou mal dirigée | 37 |
| Sortie des vieux travaux | 25 |
| Dégagements exceptionnels (1 ^{er} traçage, soufflards, dégagements instantanés). | 21 |
| Inconnus et divers. | 17 |
| Total. | 100 |

22. Causes d'inflammation du grisou.

— Les causes que l'on considère généralement comme plus directement responsables des accidents que les causes d'accumulation du grisou sont étudiées avec un soin particulier dans les enquêtes après accidents et les statistiques fournissent à leur endroit des renseignements assez

complets. Voici le résumé de ces statistiques pour les principaux pays miniers :

FRANCE

800 ACCIDENTS DE 1820 A 1882.

| | |
|------------------------------|-----|
| Lampes à feu nu | 55 |
| Lampes de sûreté | 20 |
| Tirage à la poudre | 15 |
| Inconnus et divers | 10 |
| Total. | 100 |

BELGIQUE

412 ACCIDENTS DE 1821 A 1879.

| | |
|------------------------------|-----|
| Lampes à feu nu | 20 |
| Lampes de sûreté | 37 |
| Tirage à la poudre | 30 |
| Inconnus et divers. | 13 |
| Total. | 100 |

ANGLETERRE

43 ACCIDENTS AYANT OCCASIONNÉ LA MORT DE PLUS DE 6 OUVRIERS DE 1870 A 1880.

| | |
|------------------------------|-----|
| Lampes à feu nu | 37 |
| Lampes de sûreté | 2 |
| Tirage à la poudre | 28 |
| Inconnus et divers | 33 |
| Total. | 100 |

PRUSSE
DE 1860 A 1880.

| | |
|------------------------------|-----|
| Lampes à feu nu | 60 |
| Lampes de sûreté | 20 |
| Tirage à la poudre | 10 |
| Inconnus et divers | 10 |
| Total. | 100 |

AUTRICHE
DE 1869 A 1886.

| | |
|------------------------------|-----|
| Lampes à feu nu | 51 |
| Lampes de sûreté | 14 |
| Tirage à la poudre | 27 |
| Inconnus et divers | 8 |
| Total. | 100 |

23. Lampes à feu nu. — Dans tous les pays, sauf en Belgique, où depuis longtemps la réglementation est très sévère, les lampes à feu nu ont causé le plus grand nombre d'accidents, mais elles ne seraient placées qu'en seconde ligne pour la gravité des accidents. Elles ne sont en effet employées que dans des mines peu grisouteuses ou du moins supposées telles ; on comprend que, dans ces conditions, l'inflammation d'une accumulation isolée de grisou ne puisse pas se propager à d'autres accumulations ni par

suite s'étendre au loin en frappant beaucoup d'ouvriers. Pourtant quelques explosions occasionnées par les lampes à feu nu ont été très meurtrières :

| | | |
|--|-----|----------|
| Mine de Burgk, bassin de Plauen. 2 août | | |
| 1869 | 276 | victimes |
| Mine de Brüekenberg, bassin de Zwickau, | | |
| 1 ^{er} décembre 1879 | 89 | " |
| Mine de Blantyre, Ecosse, 22 octobre 1877. | 207 | " |

Un assez grand nombre d'accidents dus à la même cause ont fait chacun près d'une vingtaine de victimes. Tantôt les lampes à feu nu étaient employées dans toute la mine ; plus souvent elles n'étaient employées ou n'étaient censées l'être que dans certaines régions de la mine réputées non grisouteuses. Tantôt les ouvriers porteurs des lampes à feu nu dépassaient les limites qui leur étaient tracées, d'autres fois le grisou pénétrait dans les quartiers supposés indemnes soit par suite d'un renversement accidentel de l'aérage, soit par suite d'un refoulement du courant d'air à la suite d'un dégagement brusque de grisou.

24. Tirage à la poudre. — La cause d'inflammation placée au second rang comme fréquence, mais de beaucoup au premier comme gravité des accidents est le *tirage à la poudre*.

L'agitation produite dans l'air par l'explosion des coups de mine paraît favoriser la propagation au loin de l'inflammation du grisou. Cette agitation produit un double effet ; elle met en mouvement le grisou accumulé dans les cloches, les remblais et l'amène au contact de la flamme de la poudre où il s'enflamme. En outre, la combustion du mélange en mouvement se fait avec une très grande rapidité, produisant une véritable explosion qui met en mouvement de nouvelles quantités de grisou. Au contraire, l'inflammation produite au contact d'une flamme dans un mélange en repos se fait avec une extrême lenteur et ne peut par suite se propager en dehors des limites de l'accumulation de grisou où elle a pris naissance. La dynamite employée depuis un certain temps dans les mines de houille n'a occasionné que de très rares accidents. On verra en effet plus loin en étudiant l'usage des explosifs dans le grisou que, tandis que la poudre noire enflamme infailliblement le grisou, la dynamite ne produit le même effet que d'une façon tout à fait exceptionnelle.

25. Accidents dus aux lampes de sûreté.

— La troisième cause d'inflammation du grisou provient de l'usage des *lampes de sûreté*. Il semble que si elles méritaient leur nom, elles ne

devraient jamais occasionner d'accidents. En fait, à part la lampe de Davy qui, sous l'influence des courants d'air, laisse passer la flamme au dehors, toutes les lampes de sûreté un peu plus perfectionnées : lampe Clanny (Boty), lampe Mueseler, lampe Marsaut, lampe Fumat n'ont pour ainsi dire jamais occasionné d'accidents lorsqu'elles sont fermées et en bon état de conservation. Le nombre relativement considérable d'inflammations de grisou qui leur est imputable provient d'ouverture des lampes, de fermeture incomplète ou de détérioration de leurs organes. Sur les 1200 accidents relevés en France et en Belgique de 1820 à 1880, il n'y en a que 6 qui soient attribuables à des lampes de sûreté autres que la lampe Davy en bon état de conservation.

L'ouverture des lampes par les ouvriers est une cause fréquente d'inflammation du grisou ; elles sont ouvertes pour les rallumer, pour donner plus de lumière, pour allumer une pipe et, chose plus difficile à croire, pour rechercher le grisou dans les cloches.

Les fermetures incomplètes résultent d'un vissage incomplet de l'armature, de l'emploi de verres n'ayant pas la hauteur normale et ne pouvant par suite être serrés sur l'armature, ou

de l'oubli d'une pièce de la lampe qui, par son absence laisse du jeu, une des deux toiles par exemple dans certaines lampes. Enfin dans les lampes à cuirasse, les tamis qui sont cachés peuvent être complètement oubliés.

Les *détériorations* les plus fréquentes des lampes se produisent dans la mine pendant le travail par la chute des pierres ou le choc des pics. Souvent dans le transport simultané par l'ouvrier de sa lampe et de son pic, la pointe de ce dernier vient faire de petits trous dans le tamis de la lampe et enlève à ce tamis toute efficacité.

D'autres fois, le *mauvais état* des organes de la lampe résulte d'un défaut de surveillance à la lampisterie. Les mailles des toiles se sont progressivement élargies par l'usure ou déformées par des frottements ; le diaphragme des lampes Mueseler a été fendu trop loin pour l'introduction de la cheminée, le pique-feu est trop mince pour le trou qui lui donne passage.

26. Causes diverses d'inflammation. — Enfin il existe toute une série de causes d'inflammation variées, d'importance moindre dont les trois plus fréquentes sont l'*usage des allumettes* par les fumeurs, les *foyers d'aérage* qui, en Angleterre et surtout en Belgique, ont amené d'assez nombreux accidents et les *incen-*

dies résultant de la combustion spontanée de la houille. Enfin les *foyers* et lumières placés au jour près de l'orifice des puits ont occasionné plus d'accidents qu'on ne serait tenté de le croire. Même, en dehors des cas d'immenses dégagements instantanés comme celui du 17 avril 1879 à Frameries, qui amena un écoulement continu et prolongé de grisou par l'orifice des puits, il arrive parfois qu'une bouffée de grisou atteint la surface avant de s'être suffisamment diluée dans l'air et s'allume aux foyers des machines brûlant et blessant les ouvriers de la surface. De nombreux exemples en ont été observés en Belgique; un cas semblable s'est produit en France en 1890 aux mines de Firminy et un autre antérieurement aux mines de Bessèges.

On peut prévoir que l'usage de plus en plus répandu de l'électricité dans les mines amènera aussi quelques inflammations de grisou soit par suite de la production d'étincelles électriques, soit par l'échauffement résultant du passage du courant dans les conducteurs.

Par contre, les étincelles produites par le choc des pics et barres à mine sur la pierre dure paraissent, contrairement à ce qui a été dit à diverses reprises, complètement inoffensives. De

nombreuses expériences faites sur ce sujet en France et en Allemagne n'ont jamais permis d'obtenir d'inflammation du grisou. Le gaz d'éclairage est au contraire facilement enflammé. C'est une généralisation trop hâtive de ce dernier fait depuis longtemps constaté qui avait fait conclure au danger des étincelles dans les mines.

27. Causes d'aggravation des accidents.

— Les causes de la *gravité exceptionnelle* de certains accidents sont faciles à établir. L'une d'entre elles résulte de la disposition en boucle du circuit d'aérage qui en rapprochant les deux extrémités permet qu'elles soient toutes deux atteintes par un même accident, qui peut ainsi paralyser complètement l'aérage. Le rapprochement des puits d'entrée et de sortie d'air, très favorable pour la commodité de l'exploitation, a été l'unique cause de la gravité exceptionnelle des plus grands accidents de mine. C'est ainsi que lors de l'accident de Seaham auquel il a été fait allusion plus haut (§ 21) (1), une légère explosion produite au voisinage du puits a amené la désorganisation des nombreux barrages, croise-

(1) AGUILON. — *Note sur les explosions survenues aux houillères de Seaham et Penygraig* (Angleterre). Annales des mines, XX, 248, 8^e série.

ments et portes d'aérage dont le non fonctionnement amena l'arrêt immédiat de la ventilation dans la plus grande partie de la mine et causa ainsi l'asphyxie de tous les ouvriers qui y travaillaient. Le même fait s'est reproduit sur une plus ou moins grande échelle dans un grand nombre d'autres accidents. Lors de l'accident de Frameries (§ 27) (1) le rapprochement des deux puits fut également, mais pour des motifs différents, la seule cause de la gravité de l'accident. Pendant que le grisou brûlait à l'orifice d'un des puits tous les ouvriers auraient réussi à se sauver par le second puits, ce qu'ils ont en vain tenté de faire, si son orifice n'avait pas été réuni avec celui du premier puits sous un même bâtiment qui fut bientôt tout en flamme.

Mais la cause de beaucoup la plus fréquente de l'aggravation des accidents de grisou est la présence de *poussières de houille* répandues dans les chantiers et les galeries soit sur le sol, soit sur les chapeaux des boisages. Au moment d'une explosion, ces poussières mises en suspension dans du gaz chaud, s'enflamment en utilisant l'excédent d'oxygène que le grisou n'a pas brûlé, et le vo-

(1) MALLARD et VICAIR. — *Note sur l'accident de Frameries* — Annales des mines, 8^e série, XV, 575.

lume des gaz brûlés ainsi que leur température sont considérablement augmentés. Et, ce qui est plus grave encore, ces poussières se trouvant ainsi soulevées en proportion bien plus grande que celle qui peut être brûlée donnent naissance à de l'oxyde de carbone, gaz éminemment toxique qui déjà à la dose de 1 % amène rapidement la mort. Il en résulte que tous les ouvriers qui se trouvent après une explosion, même assez faible, sur le passage de la bouffée des gaz brûlés pendant son cheminement vers le puits de sortie, sont tués par le gaz oxyde de carbone. Le grisou seul qui n'est jamais en excès par rapport à l'oxygène de l'air ne donnerait que de l'acide carbonique et ce gaz n'amènerait pour les ouvriers non brûlés qu'une asphyxie passagère souvent sans gravité.

Ce danger des poussières en présence des mélanges explosifs de grisou est déjà très grave, mais on ne s'en est pas contenté et on a voulu leur attribuer dans les accidents un rôle beaucoup plus considérable encore. A la suite de publications nombreuses de M. Galloway (1) et d'ex-

(1) GALLOWAY. — *On the influence of Coal Dust in collieries explosion.* Proceedings of the Royal Society. XXIV, 354; XXXII, 454; XXXIII, 437 et 490.

périences du professeur Abel (1) en Angleterre, bien des personnes ont admis que les poussières mêlées à l'air pur pouvaient donner naissance à des explosions comparables par leur intensité et leur développement aux véritables explosions de grisou. Mais cette opinion est contredite par toutes les observations et les expériences suffisamment précises. Pour soutenir cette théorie on a d'abord invoqué la formation de croûtes de coke sur les boisages à la suite des explosions ; mais il doit nécessairement s'en former dans la distillation des poussières échauffées par la combustion du grisou. On a fait valoir en second lieu qu'avant un grand nombre d'accidents considérables personne n'avait signalé dans la mine la présence de quantités exceptionnelles de grisou ; l'explication beaucoup plus naturelle de ce fait est que dans les mines en question on ne se préoccupait nullement de la constatation du grisou ; pas même dans les galeries et moins encore dans les vieux travaux. Aujourd'hui encore il n'y a qu'un très petit nombre de mines où le service de contrôle du grisou commence à s'organiser

(1) ABEL. — *Some of dangerous properties of dust* (Lecture delivered at the Royal Institution of Great Britain, 28 avril 1882).

d'une façon convenable. il n'y en a pas ou l'on se préoccupe de connaître la composition de l'atmosphère contenue dans les vieux travaux et remblais. Enfin, en troisième lieu, on a mis en avant des expériences faites à petite échelle sur la combustibilité des poussières en admettant qu'il devait y avoir proportionnalité entre l'intensité des effets obtenus et le développement des conduits et galeries où la flamme pouvait s'étendre. Cette proportionnalité n'existe pas, car il résulte d'expériences faites aux mines de Liévin que la longueur de flamme obtenue dans une galerie artificielle de 110 mètres de longueur est moindre que dans une galerie de 40 mètres.

Les expériences faites par MM. Mallard et Le Chatelier (1) sous les auspices de la Commission du grisou ont montré d'autre part qu'il y avait un très petit nombre de charbons dont les poussières mises en suspension dans l'air forment des mélanges combustibles ; que la flamme s'y propageait beaucoup trop lentement pour donner naissance à de véritables explosions, enfin que

(1) MALLARD et LE CHATELIER. — *Du rôle des poussières de houille dans les accidents de mines* (Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou, II, p. 270).

l'addition à l'air de quantités de grisou inférieures à la limite d'inflammabilité n'augmentait pas d'une façon bien appréciable la combustibilité des poussières ; le résultat contraire qui pouvait sembler *a priori* assez vraisemblable avait été affirmé à maintes reprises, mais sans preuves suffisamment précises. Le même fait a été contrôlé depuis par des expériences faites plus en grand par M. Simon, aux mines de Liévin. En outre, la discussion des accidents attribués aux poussières a montré que tous les grands accidents se sont produits dans des mines très grisouteuses et qu'il a suffi pour empêcher leur répétition, aux mines de Blanzky, par exemple, d'améliorer la ventilation, ce qui ne peut diminuer le danger des poussières. Les mines à poussières très inflammables, mais non grisouteuses, n'ont jamais été le théâtre de grands accidents. Les inflammations réelles de poussières sont toujours très limitées, non explosives. Elles ont toujours été produites par des coups de mine débourrants qui enflamment simplement la poussière qu'ils avaient mise en suspension.

CHAPITRE II

PRÉCAUTIONS CONTRE LES ACCIDENTS

28. Généralités. — Le concours simultané de trois causes distinctes étant indispensable pour la production d'un accident, il suffirait de faire disparaître complètement les causes d'une seule espèce pour supprimer du même coup les accidents. On ne peut songer à annuler complètement les causes de la gravité des accidents, on ne pourrait le faire qu'en retirant les ouvriers de la mine, c'est-à-dire en cessant d'exploiter. Mais il ne semble pas impossible *a priori* de supprimer soit les causes d'accumulation du grisou, soit les causes d'inflammation. Pendant longtemps les efforts ont été dirigés vers la sup-

pression des causes d'inflammation ; la découverte de la lampe de sûreté par Davy fit un moment espérer que le résultat désiré allait être atteint. Mais l'expérience n'est pas venue confirmer ces prévisions ; si les accidents sont devenus moins nombreux depuis l'usage des lampes de sûreté, ils sont par contre devenus beaucoup plus graves, à un point que l'on a été jusqu'à prétendre que la découverte de Davy n'avait fait qu'augmenter les dangers de l'exploitation des mines de houille. C'est là une exagération ; il suffit pour en faire justice de rapprocher du nombre de victimes produites par le grisou les quantités de charbon exploitées annuellement qui, depuis le commencement du siècle, ont été en croissant avec une rapidité extrême ; elles ont plus que décuplé et les accidents n'ont heureusement pas suivi la même progression.

Il n'en est pas moins certain que la lampe de sûreté en permettant le travail dans des milieux éminemment grisouteux a été la cause indirecte de quelques grandes catastrophes de mines. Toutes les tentatives ayant pour objet exclusif la disparition des causes d'inflammation sont condamnées à rester également stériles.

Il est certain qu'à un moment ou l'autre une négligence se produira et le bénéfice résultant des

précautions prises qui auront retardé l'accident pourra être en partie compensé par la gravité plus grande de cet accident. On ne peut espérer davantage arriver jamais à supprimer complètement les accumulations du grisou. Il faut admettre d'une façon générale qu'il est impossible d'annuler rigoureusement une quelconque des causes d'accidents; il faut se contenter de réduire leur fréquence au minimum. L'atténuation simultanée de ces différentes causes permet d'ailleurs d'obtenir une sécurité déjà très grande, presque absolue. C'est qu'en effet, si isolément chacune des causes d'accident se produit assez rarement, la probabilité de leur rencontre, indispensable pour un accident, deviendra infiniment petite. Pour fixer les idées, supposons que la fréquence des accumulations de grisou soit équivalente à une accumulation de grisou dans toute la mine pendant une journée entière, sur mille journées de travail; supposons de même que la fréquence des causes d'inflammation soit équivalente à l'emploi de lampes à feu nu pendant une journée entière sur 1000 journées de travail. La probabilité de la rencontre des accumulations de grisou et des lampes à feu nu, par suite la probabilité d'un accident sera de $\frac{1}{1000000}$, c'est-à-dire qu'il se produira en moyenne

un accident tous les 3000 ans ; cela peut passer en pratique pour une sécurité absolue. Si, au contraire, on ne s'est préoccupé que des causes d'inflammation sans réduire les causes d'accumulation, c'est-à-dire si l'on travaille normalement dans le grisou comme cela s'est vu pendant trop longtemps, dans les mines de houille, et se voit parfois encore, ce n'est plus tous les 3000 ans que se produira un accident, mais tous les trois ans. C'est-à-dire que la sécurité sera nulle, l'exploitation deviendra impossible et la mine devra être abandonnée. Bien que les chiffres employés dans ce calcul soient de fantaisie, ils ne doivent pas s'écarter beaucoup de la réalité des faits et donnent d'une façon assez exacte les limites dans lesquelles peut se mouvoir la sécurité des mines de houille suivant les soins apportés à leur exploitation.

29. Précautions contre les accumulations grisouteuses. — Si des précautions doivent être prises simultanément contre les causes d'inflammation et les causes d'accumulation du grisou, il s'en faut cependant que ces deux ordres de précautions aient le même degré d'efficacité. L'engouement pour les mesures préventives des causes d'inflammation qui a résulté de la découverte de Davy et qui a été entretenu

plus récemment par les travaux des Commissions du grisou a fait trop longtemps négliger les précautions contre les accumulations du grisou qui peuvent cependant avoir une action beaucoup plus efficace. En s'opposant à la production des accumulations de grisou, même d'une façon incomplète, on diminue à la fois et le nombre et la gravité des accidents ; en réduisant seulement la fréquence des causes d'inflammation on diminue bien le nombre des accidents mais on augmente, par contre, comme il a été dit plus haut, leur gravité en permettant aux accumulations de grisou de devenir plus considérables.

Ces deux effets opposés se compensent partiellement. De plus les causes d'inflammation sont à la merci de centaines d'ouvriers souvent ignorants du danger, et toujours négligents par le fait même de l'habitude ; la nature des choses s'oppose à ce que l'on puisse jamais compter sur leur prudence. Les mesures à prendre contre les accumulations du grisou dépendent au contraire à peu près exclusivement du personnel dirigeant de la mine auquel on est en droit de demander des garanties spéciales d'intelligence et de caractère. De grandes améliorations ont été réalisées dans cette voie depuis une

vingtaine d'années, mais il reste encore beaucoup à gagner et il est permis d'espérer qu'en persévérant dans cette direction, on arrivera à faire disparaître complètement les grands accidents tuant plusieurs centaines d'ouvriers à la fois, accidents dont la fréquence n'a fait qu'augmenter tant qu'on s'est exclusivement préoccupé de parer aux causes d'inflammation du grisou.

Parmi les mesures propres à éviter les accidents du grisou nous n'étudierons ici en détail que celles qui ont trait à l'inflammation du grisou, c'est-à-dire les moins importantes. Les mesures beaucoup plus efficaces qui visent les accumulations du grisou et la gravité des accidents se rattachent en effet directement à l'exploitation des mines qui fera dans cette Encyclopédie l'objet d'une étude spéciale dont s'est chargé M. Delafond, Ingénieur en chef des mines. On ne fera donc que résumer ici brièvement ces dernières mesures préventives.

30. Suppression des poussières de houille.

— Les précautions à prendre pour atténuer la *gravité des accidents* sembleraient, d'après ce qui a été dit plus haut, devoir être principalement dirigées contre les poussières; mais on ne voit pas jusqu'ici de procédé réellement efficace

pour lutter contre ce danger. L'enlèvement des poussières dans toute la mine est évidemment impossible ; on a proposé d'empêcher leur soulèvement par l'arrosage. Mouillées avec une quantité d'eau suffisante pour former une pâte liante, elles ne pourraient plus être mises en suspension dans l'air et encore moins être brûlées. Seulement leur arrosage pour être efficace devrait être fait dans toute la mine et en tous les points où les poussières se déposent, aussi bien sur le sol des galeries que sur le chapeau des boisages et, en raison de l'évaporation rapide résultant de la circulation de l'air, cet arrosage devrait être répété tous les jours. Le poids d'eau à répandre ainsi pour compenser l'évaporation peut être estimé à 1 % du poids d'air qui circule dans la mine, soit pour un aérage de 50^{m³} par seconde, à 40000 kilogrammes par vingt-quatre heures. Dans toutes les tentatives faites jusqu'ici, on n'a employé que des quantités infinitésimales d'eau qui ne pouvaient avoir aucun effet utile.

Les seuls procédés pratiques pour atténuer la gravité des accidents consistent à disposer les travaux et leur aérage intérieur de façon qu'en cas d'explosion le plus petit nombre possible d'ouvriers soient atteints simultanément. Puis-

que tout ouvrier se trouvant sur le passage des gaz produits par une explosion est nécessairement perdu, on devra toujours renvoyer l'air sortant des régions grisouteuses de la mine par la voie la plus directe aux puits du retour d'air sans jamais lui faire suivre les voies de roulage, ou tout autre partie de la mine où les ouvriers séjournent normalement. En second lieu, la mine devra être divisée en une série de quartiers indépendants aérés chacun par une subdivision distincte du courant d'air principal. Enfin il faut s'arranger pour qu'en cas d'explosion, l'aérage ne puisse pas être complètement suspendu dans toute la mine par la destruction des portes et barrages qui servent à diriger le courant d'air. Cette permanence de la ventilation après un accident ne peut en général être obtenue qu'avec l'aérage diagonal dans lequel les deux puits sont placés aux extrémités opposées du champ d'exploitation. Il est théoriquement possible de l'obtenir également avec deux puits voisins dans le cas de couches inclinées. Il suffit de laisser entre les puits et les galeries d'aérage qui y aboutissent une épaisseur de rocher de quelques mètres qui est plus que suffisante pour résister à toutes les explosions. Mais en fait, lorsque les puits sont voisins, on établit toujours

entre eux pour les commodités de l'exploitation des communications directes qui ne sont jamais fermées que d'une façon tout à fait précaire par des portes en bois.

31. Ventilation des mines. — Les mesures propres à éviter les *accumulations de grisou* se réduisent toutes à une *ventilation* aussi parfaite que possible des travaux. Les tentatives faites pour absorber ou détruire le grisou ont échoué, et ce que l'on sait des propriétés chimiques de ce corps permet d'affirmer qu'il en sera certainement longtemps, vraisemblablement même toujours ainsi.

La quantité d'air nécessaire pour rendre le grisou inexplusif doit être telle que la proportion de grisou dans le mélange soit inférieure à 6 %/0. Mais si l'on se tenait près de cette limite pour la composition de l'air sortant de la mine, on pourrait être certain que dans l'intérieur des travaux l'atmosphère serait partout explosive. De l'air qui pénètre dans la mine il n'y en a, en effet, qu'une partie qui arrive jusqu'aux chantiers; des expériences faites aux mines de l'Aggrappe, en Belgique, ont donné pour la perte d'air une proportion de 36 %/0. C'est-à-dire que les $\frac{2}{3}$ seulement de l'air parcouraient réellement les travaux tandis que le dernier tiers se rendait di-

rectement du puits d'entrée au puits de sortie d'air. En Angleterre, la perte a été trouvée plus forte encore et dépasse parfois 50 %. Enfin le dégagement du grisou est irrégulier d'un point à l'autre de la mine et la proportion moyenne de grisou observée à la sortie, résulte des compensations qui se produisent entre des mélanges les uns plus grisouteux, les autres moins grisouteux que la moyenne. Pour éviter les accumulations de grisou dans la mine, il faut donc que l'air renferme beaucoup moins de 6 % de ce gaz à la sortie. Sans qu'il soit possible de fixer un chiffre absolu, il semble qu'en se tenant aux environs de 0,5 % de grisou on soit actuellement dans des conditions convenables. Une teneur de 0,1 % serait un résultat magnifique qui n'est certainement jamais atteint dans les mines grisouteuses les mieux ventilées. La teneur de 1 % qui correspond toujours, pour quelques retours d'air particuliers des quartiers les plus grisouteux, à des teneurs d'au moins 2 % qui ne doivent pas être dépassées, est une limite qu'il ne faut jamais atteindre.

La fixation du volume d'air minimum nécessaire dans une mine grisouteuse donnée ne peut être déterminée d'une façon rationnelle que d'après la mesure de la quantité de grisou

qui se dégage. Ces observations grisométriques d'une importance capitale pour la sécurité, devraient être faites quotidiennement dans toutes les mines grisouteuses, il faut espérer qu'à bref délai ce progrès sera réalisé d'une façon générale. Mais aujourd'hui les mines où l'on fait des observations grisométriques sérieuses constituent une infime minorité. Pour déterminer le volume d'air minimum nécessaire, on se contente de procédés empiriques qui consistent à établir une relation déterminée entre le volume d'air nécessaire et la quantité de houille extraite ou le nombre d'ouvriers employés. Il y a évidemment une corrélation entre le dégagement du grisou et l'extraction, et par suite aussi le nombre d'ouvriers. Mais les chiffres cités plus haut à propos du dégagement du grisou montrent que, d'une mine à l'autre, la relation entre ces deux grandeurs est très variable, et de plus que de grandes variations dans l'activité de l'extraction d'une mine ne font que très peu varier le dégagement du gaz.

Ces réserves faites on peut donner comme volume d'air minimum nécessaire pour les mines très grisouteuses les chiffres de :

100 litres par seconde pour 1 tonne extraite par 24 heures.

L'administration des mines françaises demande un nombre de mètres cubes d'air par seconde compris entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{20}$ de l'extraction journalière ; en Belgique cette limite descend jusqu'au $\frac{1}{30}$, mais en même temps on recommande dans ce pays de ne pas descendre pour chaque ouvrier du poste le plus occupé au-dessous de 30 à 50 litres d'air passant réellement au chantier.

Si l'on se reporte aux expériences de la Commission prussienne du grisou qui ont donné, pour le dégagement de ce gaz, des chiffres variant de 10^{m^3} à 70^{m^3} par tonne de houille, on voit que la proportion de $\frac{1}{10}$ ou 100 litres d'air par tonne donnerait au puits de sortie un mélange renfermant de 0,1 % à 0,8 % ce qui rentre bien dans les proportions admissibles.

Pour assurer l'aérage des mines grisouteuses l'emploi de ventilateurs mécaniques est seul admissible. L'insuffisance et l'irrégularité de la ventilation naturelle, les dangers de la ventilation par foyer doivent faire proscrire d'une façon absolue leur usage. Ces procédés barbares d'aérage auront bientôt complètement disparu des mines grisouteuses en France.

Mais le fait d'envoyer dans la mine une quantité d'air suffisante pour diluer le grisou ne suffit pas à lui seul pour éviter les accumulations de

grisou, il faut encore le diriger vers tous les points où le grisou se dégage et ne pas le laisser se rendre par un chemin quelconque du puits d'entrée au puits de sortie d'air. C'est là de beaucoup le point le plus délicat de la ventilation et qui laisse encore beaucoup à désirer dans un trop grand nombre de mines.

Par le fait des nécessités de l'exploitation, toute mine est sillonnée de galeries en nombre considérable entre lesquelles l'air tend à se partager, en suivant de préférence celles qui présentent le plus court chemin du puits d'arrivée au puits de sortie d'air. Pour l'obliger à passer par les travaux neufs qui constituent généralement la voie de plus grande résistance, on est obligé de fermer les autres issues au moyen de portes dont le fonctionnement est toujours très précaire. Elles ne sont jamais étanches, sont fréquemment ouvertes pour les besoins de l'exploitation et peuvent même, par inadvertance, être laissées complètement ouvertes pendant un temps assez long.

Pour atténuer autant que possible l'effet de ces négligences inévitables, il faut organiser les travaux de façon à avoir besoin du plus petit nombre de portes possible, et à conserver, même pendant leur ouverture, une certaine ven-

tilation dans tous les quartiers de la mine. Ces deux conditions exigent que les voies les plus courtes où l'air peut passer lui opposent déjà une résistance notable, qui ne soit pas trop faible par rapport à celle du circuit normal. On est forcément conduit à la disposition connue sous le nom d'aérage diagonal, dont l'importance a été déjà reconnue plus haut au point de vue de l'atténuation de la gravité des accidents. Enfin les portes doivent être au moins doubles et pourvues de systèmes mécaniques d'enclenchement qui rendent impossible l'ouverture simultanée des deux.

L'air amené dans les travaux en activité doit encore être conduit jusqu'au front de taille qui est toujours le siège d'un dégagement notable de grisou. Le déplacement continu du front de taille par le fait de l'abatage complique considérablement cette troisième phase de la ventilation qui n'est pas moins importante que les deux précédentes. L'aérage par simple diffusion des chantiers ainsi que leur aérage au moyen de ventilateurs à bras, doivent être absolument proscrits dans les mines grisouteuses, particulièrement dans les travaux en remonte. Ces procédés, tout à fait insuffisants pour éviter les accumulations de grisou, ont été la cause d'un si

grand nombre d'accidents qu'on s'étonne de les rencontrer encore dans certaines mines grisouteuses. Si par la disposition des travaux le courant d'air ne vient pas lécher naturellement le front de taille, il faut l'y amener en totalité ou en partie au moyen, soit de cloisonnements divisant en deux l'ouvrage, soit de tuyaux métalliques, ou mieux y conduire l'air au moyen de ventilateurs secondaires actionnés par l'air comprimé, comme cela se fait à Blanzky. Cette dernière disposition a le grand avantage de ne pas exiger de nouvelles portes et de ne pas augmenter la résistance du circuit général d'aérage. Elle a par contre l'inconvénient d'être exposée à des arrêts accidentels.

Toutes ces prescriptions s'appliquent aux travaux neufs, des précautions semblables sont nécessaires pour les vieux travaux où les accumulations de grisou sont d'autant plus redoutables qu'on n'est pas averti de leur présence. Mais cette question des vieux travaux est encore l'inconnu et trop souvent on néglige de s'en occuper. Au point de vue de la sécurité c'est actuellement dans les mines qui passent pour bien tenues le point de beaucoup le plus faible. Il semble que le seul procédé efficace contre le danger des vieux travaux soit leur remblayage complet; les remblais

doivent en outre pendant les premiers mois qui suivent leur mise en place et jusqu'à leur tassement complet être ventilés par des galeries réservées au milieu d'eux et pas trop distantes l'une de l'autre. Sous aucun prétexte on ne doit abandonner au milieu des remblais des galeries non remblayées qui pourront même, plusieurs années après l'exploitation, se remplir de grisou. Ces précautions ont une importance capitale dans les couches minces, surtout lorsqu'il existe au voisinage des niveaux grisouteux dus à la présence de petites couches non exploitées ; elles ont une importance moindre dans les couches épaisses où les remblais ne sont jamais très éloignés des galeries et sont ainsi aérés par diffusion. Cette ventilation des remblais exige, dans les mines sujettes aux incendies, que tout le charbon soit enlevé avec grand soin et qu'il n'en reste pas dans les vieux travaux.

Toutes les précautions contre les accumulations de grisou et la gravité des accidents sont difficiles à réaliser, parce qu'elles dépendent de la disposition générale des travaux qu'il est fort difficile de modifier lorsqu'ils ont été une fois mal engagés. Mais ces précautions, lorsqu'elles ont été convenablement prises, assurent une sécurité très grande, beaucoup plus grande qu'on

ne serait tenté de le croire quand on réfléchit aux incidents imprévus qui peuvent accidentellement les paralyser. L'expérience est là pour établir d'une façon formelle que les grands accidents de grisou ont toujours disparu d'une façon complète dès que la ventilation a été suffisamment organisée. On l'a vu dans le bassin houiller du Gard d'abord et plus récemment à Blanzky.

32. Indicateurs du grisou. — Le fonctionnement de la ventilation exige, pour être convenablement réglé, une connaissance précise des quantités de grisou qui se dégagent, soit dans l'ensemble de la mine, soit en ses différents points. De nombreux appareils indicateurs de grisou ont été proposés dans ce but. Les seuls qui soient réellement pratiques utilisent la combustibilité du grisou. Tous ceux qui reposent sur la différence de densité de ce gaz et de l'air (balance hydrostatique, appareil à endosmose, tuyau sonore) ne donnent que des indications très incertaines parce qu'ils sont également influencés par la présence de l'acide carbonique, et par les variations de pression et de température de l'air.

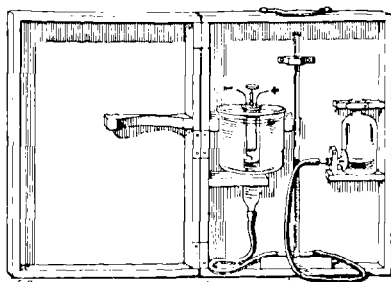
La combustion du grisou peut être utilisée de bien des façons pour reconnaître et doser ce gaz. On peut d'abord, par une véritable analyse chi-

mique, doser l'eau et l'acide carbonique produits ; ce procédé, le seul rigoureusement exact, ne peut s'appliquer facilement qu'à des échantillons d'air rapportés au laboratoire. On peut, en second lieu, observer la flamme bleue due à la combustion du gaz qui donne une auréole plus ou moins grande autour de la flamme des lampes. Ces indications moins précises ont le grand avantage de pouvoir se faire directement dans la mine. Enfin on a proposé divers procédés qui ne sont pas encore pratiques mais qui pourront le devenir, dans lesquels la combustion du grisou se manifeste par l'incandescence d'un fil de platine, traversé par un courant électrique, par l'allongement de la flamme des lampes, etc.

Les analyses du grisou peuvent d'abord se faire comme celle de tous les gaz par la méthode volumétrique, en mesurant les changements de volume qui résultent, soit de la combustion simple, soit de l'absorption de l'acide carbonique. M. Coquillon a indiqué, pour la combustion des mélanges gazeux très pauvres, l'emploi d'une spirale de palladium incandescente et a proposé son emploi pour le dosage du grisou. Mais l'appareil qu'il a construit ne se prête pas à des mesures précises, en raison de l'emploi pour la mesure des gaz d'eau qui dissout inévitablement

une partie de l'acide carbonique formé, et par suite de l'absence de précautions contre les variations de température. Cet appareil ⁽¹⁾ peut être rendu beaucoup plus précis sans devenir plus compliqué. En premier lieu, la spirale de palladium employée pour des motifs théoriques très contestables, doit être remplacée par une spirale de platine. Ce métal, moins fusible, peut être

Fig. 5



chauffé à une température plus élevée qui rend plus rapide la combustion des gaz. La mesure des gaz doit se faire sur

le mercure et le mesureur doit être entouré d'une masse d'eau suffisante pour assurer l'invariabilité de sa température. La *fig. 5* donne la disposition d'un appareil semblable dans lequel on détermine la variation de pression qui résulte de la combustion à vo-

(1) H. LE CHATELIER. — *Sur le dosage du grisou.* — (Annales des Mines, 1892).

lume constant du grisou. Une pointe qui affleure le mercure sert de point de repère pour ramener, après combustion, le volume de la masse gazeuse à sa valeur initiale. La spirale de platine est composée de 6 spires de 3 millimètres de diamètre faites avec un fil de $0^{\text{mm}},3$ de diamètre. En employant l'alliage $\text{Pt} + 3\% \text{Cu}$, dont la résistance considérable est, sous le diamètre de $0^{\text{mm}},3$, de $1^{\text{ohm}},3$ par décimètre de longueur il faut, pour porter le fil au rouge blanc, un courant de 6 ampères. La combustion est terminée au bout d'une durée d'incandescence d'une demi-minute qui doit être interrompue par une période de refroidissement pour assurer le brassage des gaz et leur passage sur la spirale. La variation de pression observée est de 15 millimètres de mercure pour 1 $\%$ de grisou.

Un second procédé ⁽¹⁾, aussi précis que le précédent, permet, avec des appareils plus simples encore, de faire le dosage de petites quantités de grisou. Il repose sur la mesure des limites d'inflammabilité, son principe est dû à un américain, M. Shaw.

⁽¹⁾ H. LE CHATELIER. — *Sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité.* — (Annales des Mines, 1891, 8^e s. XIX, p. 396).

La proportion d'un gaz combustible, du gaz d'éclairage par exemple, qu'il faut ajouter à de l'air grisouteux pour atteindre la limite d'inflammabilité, est évidemment d'autant moindre qu'il renferme déjà plus de grisou.

Le volume x de grisou contenu dans 100 volumes de l'air de la mine est alors donné par la formule

$$x = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{600}{100 - n}$$

en appelant :

n , le volume du gaz combustible ajouté à l'air de la mine pour avoir 100 volumes d'un mélange à la limite de combustibilité ;

N , le volume du même gaz qu'il faut ajouter à de l'air pur pour avoir 100 volumes de mélange à la limite de combustibilité.

Pour effectuer ces essais, on se sert d'une éprouvette en verre de 35 millimètres de diamètre intérieur 250 millimètres de longueur, et rétrécie à sa partie inférieure à 20 millimètres pour qu'il soit possible de la fermer avec le pouce. Elle est prolongée à sa partie supérieure par un tube plus étroit de 10 millimètres de diamètre et 250 millimètres de longueur (*fig. 6*). Le volume du mélange gazeux est limité par un

trait tracé à 50 millimètres au-dessus de l'orifice inférieur ; le tube supérieur est divisé en $\frac{1}{1000}$ de ce volume. L'éprouvette étant remplie du mélange gazeux, on en ferme le bas avec le pouce, puis on la retourne et l'agite en tous sens pour rendre le mélange bien homogène. Ensuite on la relève dans sa position primitive en attendant que l'on soit prêt à provoquer l'inflammation. Alors *on la retourne brusquement et au moment où l'eau arrive dans le bas, on écarte le pouce sans aucun retard, on introduit franchement dans l'orifice une allumette en feu ou une petite flamme de gaz. Si le mélange est combustible, une flamme bleu pâle descend jusqu'au fond de l'éprouvette, sinon on ne voit rien se produire. L'incertitude sur la teneur en gaz déterminée par cette méthode n'atteint pas $\frac{1}{1000}$ du volume total à condition de se conformer strictement aux indications données plus haut et qui sont indispensables pour éviter les combustions incomplètes au voisinage de la limite d'inflammabilité.*

Fig. 6



Pour l'estimation rapide du grisou dans la mine on s'est servi jusqu'ici exclusivement de l'auréole bleue que la présence de ce gaz produit autour de la flamme des lampes. Cette auréole qui accuse la combustion du gaz est due à ce que les mélanges trop pauvres pour être directement inflammables le deviennent lorsqu'ils sont échauffés à une température suffisante par la flamme. Cette auréole est d'autant plus grande que le mélange est plus riche en gaz et que le volume de la flamme est plus grand. Mais elle est très peu brillante et n'est pas visible lorsque l'œil est ébloui par le voisinage d'une flamme éclairante. Tous les artifices qui procurent avec ce procédé une certaine sensibilité consistent à diminuer l'éclat des flammes ou à les masquer par des écrans et des verres absorbants. Les expériences faites par MM. Mallard et Le Chatelier⁽¹⁾ sous les auspices de la Commission du grisou, ont montré que l'on pouvait, par ce procédé, obtenir les résultats suivants :

En employant la flamme de l'hydrogène qui a le grand avantage d'être à la fois très chaude

(1) MALLARD et LE CHATELIER. — *Sur les procédés propres à déceler la présence du grisou dans l'atmosphère des mines* (Annales des Mines, 7^e série, XIX, p. 186).

et pas éclairante, on reconnaît facilement le grisou à partir de $\frac{1}{4}$ %. Mais jusqu'ici on n'a pas trouvé de procédés pratiques pour descendre dans la mine des lampes à hydrogène.

La flamme de l'alcool très peu éclairante, mais un peu moins chaude que celle de l'hydrogène, permet de reconnaître le grisou difficilement à partir de $\frac{1}{4}$, facilement à partir de $\frac{1}{2}$ %. Une lampe indicatrice du grisou fondée sur ce principe a été réalisée ultérieurement par un Allemand nommé Pieler. Elle commence à être très répandue dans les houillères où elle permet un contrôle rapide de tous les retours d'air ; mais elle ne doit pas être maintenue dans les mélanges renfermant plus de 3 % de gaz, car elle s'échauffe considérablement et l'alcool distille. Elle cesse d'ailleurs à ces teneurs élevées de donner des indications précises. La hauteur des auréoles pour chaque teneur en gaz peut varier du simple au double suivant le réglage de la mèche de la lampe. Enfin la température de l'atmosphère où elle est plongée, la nature et le degré de l'alcool employé semblent avoir une influence très marquée sur ses indications. Il faut donc dans chaque houillère faire une graduation spéciale de la lampe Pieler au moyen de quel-

ques analyses des atmosphères grisouteuses dans lesquelles elle a été observée.

M. Chesneau, ingénieur des Mines, a récemment apporté des perfectionnements importants à la lampe à alcool. En ajoutant un peu de chlorure de cuivre à l'alcool il a rendu l'auréole beaucoup plus brillante et partant plus visible. Enfin, par un dispositif imité de la lampe Fumat, il a obtenu l'extinction certaine de la lampe dans les mélanges explosifs ce qui augmente beaucoup son degré de sécurité.

Les flammes des lampes à huile employées pour l'éclairage ordinaire dans les mines sont trop brillantes pour laisser apercevoir l'auréole qui les entoure. Mais en baissant suffisamment la mèche pour réduire la hauteur de flamme à 3 ou 4 millimètres ou en l'écrasant simplement avec le porte-mèche, comme l'a indiqué M. Fumat, ingénieur principal des mines de la Grand Combe, la flamme perd tout pouvoir éclairant en devenant bleu pâle. Elle laisse alors apercevoir une petite auréole difficilement visible à partir de 2 % et très facilement visible à partir de 4 %. Pratiquement dans les mines on arrive avec un peu d'habitude à reconnaître ainsi le grisou à partir de la teneur de 3 %. Si on conserve à la lampe une flamme un peu plus

grande qui présente alors un point brillant à son sommet, on peut, en la plaçant entre deux écrans dont l'un masque à l'observateur la flamme et l'autre préserve de tout éclaircissement le fond sur lequel se projette l'auréole, reconnaître le grisou difficilement à partir de 1 % et facilement à partir de 2 %.

La flamme des lampes peut encore être utilisée pour reconnaître la présence du grisou en utilisant l'allongement qu'elles prennent dans un air appauvri en oxygène pour un motif quelconque et en particulier par la présence d'un gaz combustible qui s'empare d'une partie de l'oxygène disponible. C'est là un phénomène d'une très grande sensibilité surtout quand la flamme est réglée au point où elle va commencer à fumer et on est loin d'en avoir tiré jusqu'ici tout le parti possible. Avec les lampes à huile ordinaire on peut reconnaître ainsi facilement la présence du grisou depuis $\frac{1}{2}$ %. Mais les variations continuelles et irrégulières des flammes de ces lampes résultant de la combustion de la mèche ne permettent de les employer à cet usage que pour comparer l'air en deux points voisins ; par exemple, dans une cloche et au niveau du sol. Avec les liquides volatils dont la combustion n'altère pas la mèche, on

peut conserver pendant plusieurs heures une hauteur de flamme constante dans l'air pur et par suite utiliser ses variations de hauteur pour reconnaître et doser la quantité de grisou mêlée à l'air. M. Chesneau, a réalisé sur ce principe une lampe à alcool d'une grande sensibilité; elle a malheureusement l'inconvénient d'être très sensible aux variations de température. Le pétrole employé pour l'éclairage dans certaines mines donnerait vraisemblablement aussi de très bons résultats. Le gaz d'éclairage pourrait avec avantage être employé de la même façon à la surface pour le contrôle permanent de l'air expulsé de la mine par le ventilateur. La principale difficulté que présente ce mode d'observation du grisou, provient de l'influence perturbatrice des variations de la température.

Un dernier procédé pour la constatation du grisou qui a été proposé par M. Liveing consiste à utiliser la différence d'éclat de deux fils fins de platine portés au rouge sombre par un même courant, l'un au milieu d'une atmosphère d'air pur, l'autre dans l'air grisouteux à étudier. Ce dernier est échauffé d'autant plus par la combustion lente du grisou que la proportion de ce gaz est plus considérable. Ce procédé qui n'a

pas encore reçu une forme pratique donnerait certainement une solution satisfaisante pour la recherche du grisou le jour où dans l'éclairage des mines, les lampes ordinaires seraient remplacées par des lampes électriques portatives.

CHAPITRE III

—

LAMPES DE SURETÉ

33. Lampes à feu nu. — Les précautions contre les causes d'inflammation du grisou doivent être aussi variées que ces causes elles-mêmes, mais les plus importantes de beaucoup sont, comme le prouvent les statistiques citées plus haut, celles qui se rapportent à l'éclairage et à l'emploi des explosifs.

Le nombre considérable d'accidents occasionnés par les *lampes à feu nu* et la gravité de quelques-uns d'entre eux montrent qu'elles doivent être absolument proscrites de toutes les mines grisouteuses, si peu qu'elles le soient. La distinction entre les mines à grisou proprement dites, où l'on prend des précautions spéciales, et les mines peu grisouteuses, où l'on s'en dispense,

est absolument fictive. Toute mine peu grisouteuse deviendra un jour ou l'autre, mine à grisou ; il serait préférable de ne pas attendre pour la faire passer dans cette seconde catégorie, que l'on ait tué un nombre suffisant d'ouvriers. Il semblerait même raisonnable d'aller plus loin et de prendre systématiquement dans toutes les mines de houille les mêmes précautions que dans les mines déjà reconnues comme grisouteuses.

34. Lampes de sûreté. — Les *lampes de sûreté*, dont la découverte suffirait à elle seule pour immortaliser le nom de Davy, utilisent les propriétés connues des toiles métalliques.

Des centaines de types de lampes, fondés sur le même principe, ont été déjà proposés par les inventeurs, mais une demi-douzaine seulement ont donné des résultats satisfaisants dans la pratique et sont entrés dans l'usage courant des mines. C'est qu'à côté des conditions de sécurité une lampe de mine doit satisfaire à certaines autres conditions non moins indispensables de solidité, de simplicité d'entretien, de résistance à l'extinction, par agitation ou inclinaison, etc. Et ces diverses conditions sont beaucoup plus difficiles à concilier qu'on ne serait tenté de le croire à première vue. Après s'être longtemps contenté d'une lampe très peu sûre en sacrifiant

un peu de la sécurité à la simplicité, comme dans le premier modèle de Davy, on est arrivé par une réaction inverse à imposer aux lampes des conditions de sécurité exagérées en sacrifiant par contre les autres qualités de simplicité et de commodité d'emploi. Cette sécurité extrême de certains types de lampe est d'ailleurs beaucoup plus apparente que réelle ; les statistiques d'accidents dus aux lampes de sûreté montrent en effet que ces accidents sont presque exclusivement dus à des détériorations ou ouvertures des lampes qui sont d'autant plus à craindre que les lampes sont d'une construction plus compliquée.

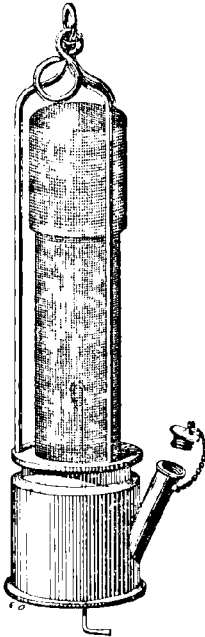
Pour apprécier la sécurité des lampes dans les essais de laboratoire on les place au sein de mélanges explosifs d'air et de gaz d'éclairage et l'on cherche à réaliser les conditions les plus favorables pour le passage de la flamme à l'extérieur. En se reportant à ce qui a été dit des propriétés des toiles métalliques, on voit que ces expériences doivent pour être concluantes, être faites de plusieurs façons différentes : dans les deux procédés les plus usités, ou bien on remplit la lampe éteinte de mélange explosif et on provoque l'inflammation intérieure par une étincelle électrique, ou bien on expose la lampe préalablement allumée à des courants de mélanges

explosifs animés de vitesses plus ou moins grandes, ayant des directions variables et dont on fait périodiquement varier la composition, de façon à avoir alternativement un excès de gaz ou un excès d'oxygène. De nombreuses expériences ont montré que ces variations de composition étaient particulièrement redoutables pour la sécurité des lampes sans que l'on ait pu donner jusqu'ici une explication bien certaine de ce fait. Le premier essai correspond dans la pratique au mode habituel de recherche du grisou dans les cloches, qui consiste à élever doucement la lampe après l'avoir mise en feu bas. Il résulte des dimensions exigües de la flamme que le gaz peut remplir la lampe avant d'atteindre la flamme et de s'y allumer. Ce danger qui a longtemps passé inaperçu a été signalé il y a quelques années par M. Marsaut, directeur des houillères de Bessèges. Le second essai correspond pour la pratique aux conditions analogues d'agitation et de courants d'air qui peuvent se rencontrer accidentellement dans les galeries de mines.

35 Lampe Davy. — La lampe *Davy* proprement dite (*fig. 7*) est une lampe dans laquelle la flamme est entourée d'un cylindre de toile métallique fermé à la partie supérieure dont les mailles ont 0^m^m,50 d'ouverture. Le diamètre du

cylindre de toile ou tamis varie de $0^m,04$ à $0^m,08$ et sa hauteur de $0^m,150$ à $0^m,200$. La vitesse minima nécessaire pour faire sortir la flamme est de $1^m,50$

FIG. 7



dans le gaz d'éclairage, ce qui correspondrait à environ 3 mètres pour le grisou. A ces faibles vitesses il faut plusieurs minutes pour faire sortir la flamme; à la vitesse de 5 mètres dans le gaz d'éclairage le passage est instantané. La vitesse que prend une lampe dans sa chute libre, ou dans la secousse que lui communique un ouvrier qui la tire brusquement à lui pour la retirer d'un mélange explosif suffit pour projeter la flamme au dehors; c'est ainsi que se sont produits presque tous les accidents, fort nom-

breux d'ailleurs, qui ont été occasionnés par la lampe Davy. Le pouvoir éclairant est en moyenne de $\frac{1}{10}$ de bougie; les $\frac{2}{3}$ de la lumière de

la flamme sont arrêtés par les fils métalliques. En raison du danger que présente leur emploi, les lampes de ce type doivent être absolument prosrites pour l'éclairage courant des mines à grisou. Elles possèdent cependant une propriété qui les rend très commodes pour la recherche du grisou et fait tolérer leur emploi dans la visite des chantiers qui est faite par un surveillant spécial avant le commencement du travail des ouvriers. Leur flamme se rallume spontanément quand la lampe, après avoir été plongée dans un mélange explosif, est ramenée dans de l'air pur ou tout au moins moins chargé de grisou ; c'est la seule lampe qui dans ces conditions ne s'éteigne pas définitivement ; dans les mines insuffisamment ventilées où les accumulations de grisou au toit et dans les cloches sont fréquentes, la recherche du grisou serait rendue très difficile si le surveillant avait sa lampe éteinte chaque fois qu'il rencontre du grisou. Pour cet usage particulier où le pouvoir éclairant de la lampe n'a qu'une importance secondaire, on doit employer une double épaisseur de toile qui augmente notablement la sécurité. Mais surtout on ne doit mettre ces lampes qu'entre les mains d'hommes éprouvés, sur le sang-froid desquels on peut assez compter pour être assuré qu'en voyant leur lampe se

remplir de feu ils sauront résister au mouvement instinctif qui fait vivement tirer la lampe à soi.

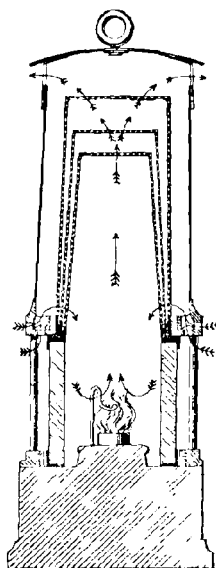
36 Lampe Clanny (*Boty, Wolf*, de Sarrebruck). — Cette lampe est une lampe Davy dans laquelle la toile métallique a été remplacée autour de la flamme par un verre qui augmente considérablement son pouvoir éclairant; il est environ de $\frac{1}{3}$ de bougie. De toutes les lampes à verre, c'est la plus simple puisque son enveloppe ne se compose que de deux parties, un verre et une toile métallique. Au point de vue de la sécurité, cette lampe présente une grande supériorité sur la lampe Davy bien que sous l'action des mélanges explosifs en mouvement, la flamme soit facilement projetée au dehors. Cette sécurité plus grande résulte de ce que cette lampe s'éteint quand elle est ramenée d'un mélange explosif à l'air pur. L'ouvrier n'a donc pas la faculté, comme avec la lampe Davy, de l'exposer un grand nombre de fois à l'action des mélanges explosifs. Elle s'éteint même la plupart du temps quand elle est introduite lentement dans un mélange explosif, en raison de l'agitation de l'air qui fait arriver alternativement sur la lampe des mélanges combustibles et non combustibles, lorsqu'elle traverse la zone qui correspond à la limite d'inflammabilité. La

sécurité est notablement augmentée encore par la superposition de deux toiles métalliques qui n'ont pas l'inconvénient de diminuer le pouvoir éclairant. C'est, de toutes les lampes de mines, celle qui résiste le mieux à l'extinction par agitation ou inclinaison.

37. Lampe Marsaut (Evan Thomas). —

C'est une lampe Clanny dont le tamis est entouré d'un écran métallique qui la protège contre l'action des courants d'air; des ouvertures percées à la base et au sommet permettent l'entrée de l'air et la sortie des fumées (*fig. 8*). Cet écran donne à la lampe une sécurité qui paraît absolue dans les conditions habituelles des mines; il préserve de plus le tamis contre les détériorations accidentelles. En regard de ces deux avantages, il a l'inconvénient de diminuer un peu le pouvoir éclairant, de faciliter l'extinction en gênant la

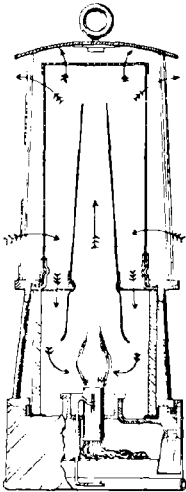
Fig. 8



circulation de l'air, enfin de permettre plus facilement l'oubli du tamis que l'on ne voit pas. C'est aujourd'hui pour les mines très grisouteuses la lampe qui est le plus généralement préférée en France.

38. Lampe Mueseler. — Il s'agit ici d'une

FIG. 9



lampe Clanny qui est fermée au-dessus du verre par un diaphragme horizontal en toile métallique à travers lequel passe une cheminée très rétrécie à son sommet (*fig. 9*). Cette disposition a pour effet d'amener à coup sûr et presque immédiatement l'extinction de la lampe dans les mélanges explosifs, ce qui donne une garantie très importante de sécurité. Cette extinction résulte de ce que dans les mélanges explosifs la flamme remonte jusqu'au diaphragme sous lequel elle s'arrête. Dans cette position de la flamme les gaz brûlés s'échappent à travers le diaphragme en sens inverse des gaz froids auxquels ils se

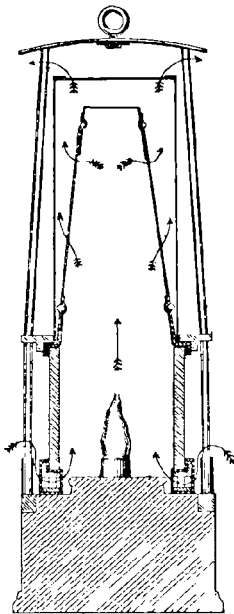
monte jusqu'au diaphragme sous lequel elle s'arrête. Dans cette position de la flamme les gaz brûlés s'échappent à travers le diaphragme en sens inverse des gaz froids auxquels ils se

mélangent jusqu'à les rendre complètement incombustibles et amener ainsi leur extinction. On peut cependant avec cette lampe obtenir la sortie de la flamme en dirigeant un courant gazeux assez rapide de bas en haut contre le chapeau, ce qui renverse le sens de la circulation d'air à l'intérieur et permet à la flamme de se rendre par la cheminée dans le tamis d'où le courant d'air la projette ensuite au dehors. Malgré ce danger, qui suppose la réunion de conditions très rares dans la pratique, cette lampe a pendant longtemps été considérée comme la seule qui fût suffisamment sûre dans les mines très grisouteuses ; c'est encore celle qui est actuellement la plus employée dans ces mines. Elle a par contre le grave défaut de s'éteindre très facilement par inclinaison, c'est de toutes les lampes de sûreté celle qui présente ce défaut au plus haut degré. On pourrait atténuer considérablement ce défaut en augmentant le diamètre de la cheminée, mais on détruirait du même coup la sécurité de la lampe. La cheminée n'étant plus remplie de fumée laisse passer dans le tamis la flamme du grisou. On ne doit sous aucun prétexte modifier dans cette lampe les dimensions réglementaires.

39. Lampe Fumat — La lampe Fumat est une

lampe à alimentation inférieure, c'est-à-dire dans laquelle l'air est admis en dessous du verre (fig. 10). Dans les lampes précédentes l'air était admis au-

Fig. 10



dessus du verre et devait descendre pour arriver à la flamme en circulant en sens inverse des fumées qui s'élèvent nécessairement en raison de leur échauffement. L'alimentation inférieure des lampes de sûreté qui avait été essayée depuis longtemps, même par Davy, entraîne généralement deux graves inconvénients qui avaient fait renoncer à son emploi. Ces lampes sont très sensibles au balancement et s'éteignent sous l'action de la force centrifuge qui rabat les fumées sur la flamme.

En outre, dans les mélanges explosifs la combustion intérieure du gaz améliore le tirage, la lampe s'échauffe énormément, les toiles

rougissent, les verres cassent et l'inflammation se propage au dehors. Ces deux défauts n'existent que peu ou pas dans la lampe Fumat, par suite sans doute du choix judicieux des dimensions données aux différents organes. La lampe s'éteint complètement dans les mélanges explosifs par un mécanisme assez curieux. Au moment où le gaz vient brûler contre la toile inférieure d'admission d'air il se produit des mouvements vibratoires analogues à ceux qui se développent dans l'harmonica philosophique ; ces mouvements augmentent peu à peu d'intensité jusqu'au moment où ils amènent l'extinction brusque de la flamme. Cette lampe a un très bon pouvoir éclairant en raison du mode d'admission de l'air ; elle peut être inclinée presque jusqu'à l'horizontale sans s'éteindre. Elle a seulement l'inconvénient d'être sensible au mouvement pendulaire produit par le balancement du bras qui peut amener son extinction. Cet inconvénient a disparu dans le dernier modèle de cette lampe grâce à l'adjonction d'une cuirasse. Au point de vue de la sécurité, elle est comparable aux lampes Marsaut et Mueseler.

40. Degré de sécurité des diverses lampes. — C'est intentionnellement que dans

les quelques lignes consacrées ici aux lampes de sûreté il a été à peine fait allusion au nombre illimité d'expériences entreprises dans ces dix dernières années pour comparer le degré de sécurité des divers types de lampes. Sans contester les très grands services rendus par ces expériences, les progrès qu'elles ont amenés dans la construction des lampes de sûreté, on ne peut méconnaître qu'elles ont fait accorder une importance factice à ceux des éléments de la sécurité des mines qui se prêtent à des expériences de laboratoire. On est instinctivement conduit à donner une importance prépondérante aux côtés d'une question que l'on a étudiés soi-même, ou sur lesquels on trouve le plus grand nombre de documents imprimés. On est arrivé ainsi à classer les lampes d'après des expériences dans lesquelles la vitesse a été poussée jusqu'à 20 mètres par seconde, condition qui ne peut se présenter dans les mines. Le degré de sécurité mesuré au laboratoire n'a presque aucune espèce de rapport avec le degré de sécurité dans la mine. Soit par exemple à comparer la lampe Clanny et la lampe Mueseler ; au laboratoire la sécurité de la première semble nulle ; celle de la seconde énorme. Si, au contraire, on se reporte à la statistique des accidents, il n'y a plus de différence appréciable ;

la raison en est facile à comprendre quand on entre dans le détail des accidents ; on voit que presque tous sont le fait de lampes détériorées ou ouvertes, tandis qu'au laboratoire on n'expérimente que sur des lampes en bon état. La sécurité d'un type de lampe ne dépend donc pas seulement des qualités qu'il présente lorsqu'il est en bon état, mais entre beaucoup d'autres conditions de la chance plus ou moins grande qu'il présente d'être détérioré. Ainsi la lampe Mueseler qui s'éteint facilement sera nécessairement beaucoup plus fréquemment ouverte par les ouvriers que la lampe Clanny quelles que soient les précautions prises contre l'ouverture. Il n'est pas impossible qu'en pratique cette source de danger compense les qualités supérieures de la lampe fermée. Cette importance exagérée accordée à certains côtés d'une question n'est pas sans inconvénient. Il n'y a pas grand mal, peut-on croire, à faire plus que le nécessaire en fait de lampes, la sécurité doit y gagner. Ce serait vrai si l'étude des autres côtés du problème de grisou n'en souffrait pas, mais malheureusement il n'en est pas ainsi et l'esprit humain est ainsi fait que lorsqu'il se laisse trop vivement entraîner dans une direction, il n'est plus capable d'apercevoir les directions voisines.

Aujourd'hui il n'y a pas un directeur de mines qui ne soit pénétré de l'importance des lampes de sûreté, par contre il y en a encore un trop grand nombre qui ne se préoccupent pas suffisamment de l'importance bien plus considérable, au point de vue de la sécurité, de l'aérage et de l'organisation des travaux.

La fréquence des accidents dus à l'ouverture des lampes montre qu'il est impossible de compter sur la sagesse des ouvriers pour éviter de semblables imprudences. On a cherché à recourir à des procédés de *fermeture* mécanique qui rendent l'ouverture sinon impossible, du moins assez difficile pour que l'ouvrier n'ait pas intérêt à l'essayer. Les procédés de fermeture des lampes sont un des sujets qui ont le plus exercé l'imagination des inventeurs. Parmi tous les systèmes proposés, les seuls qui présentent une simplicité assez grande pour présenter un fonctionnement assuré sans exiger un entretien trop compliqué sont la fermeture hydraulique de Catrice et la fermeture magnétique de Villiers dans lesquels le verrou ne peut être actionné de l'extérieur que par un puissant aimant ou par de l'eau sous pression. Aujourd'hui on a généralement renoncé à l'usage des fermetures inouvra-
bles ou censées telles; on se contente d'exiger

des fermetures qui laissent une trace facilement visible lorsqu'elles ont été forcées. Dans cet ordre d'idée la fermeture par un rivet de plomb portant une marque spéciale est celle qui est actuellement préférée.

41. Pouvoir éclairant. — Les lampes pour concourir à la sécurité des ouvriers ne doivent pas seulement être étudiées au point de vue du grisou ; un danger beaucoup plus grave que les accidents de grisou par le nombre des morts qu'il occasionne provient des chutes de pierre. Pour se prémunir contre ces accidents, l'ouvrier a besoin d'avoir une lampe qui l'éclaire bien et qui puisse s'incliner dans tous les sens pour permettre un examen facile du toit et la reconnaissance des pierres prêtes à tomber. Le *pouvoir éclairant* d'une lampe est donc un élément essentiel de sécurité et, à ce point de vue, il faut avouer que les lampes de mine ordinaires laissent beaucoup à désirer. L'emploi de l'huile végétale jointe à l'impossibilité d'ouvrir la lampe pour moucher la mèche font que le pouvoir éclairant tombe très rapidement à moitié de sa valeur primitive et même au-dessous. Des expériences faites sur ce sujet par la Commission anglaise du grisou ont donné pour le pouvoir éclairant des lampes Clanny et Mueseler

les résultats suivants après des durées variables d'allumage. L'unité est la bougie anglaise :

| Lampe Clanny | | Lampe Mueseler | |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Durée d'allumage | Pouvoir éclairant | Durée d'allumage | Pouvoir éclairant |
| 5' | 0,52 | 5' | 0,41 |
| 99' | 0,33 | 54' | 0,30 |
| 169' | 0,34 | 90' | 0,17 |
| 199' | 0,26 | 116' | 0,16 |

Depuis quelques années, des essais ont été faits en Allemagne et en Angleterre pour remplacer les huiles végétales par des huiles minérales volatiles (1) : qui peuvent brûler sans faire charbonner la mèche et permettent ainsi d'obtenir un éclairage constant pendant un grand nombre d'heures. Avec des dispositions de lampes convenables on est même arrivé à obtenir ainsi des pouvoirs éclairants de plus d'une bougie. Il ne semble pas résulter de danger spécial de l'emploi de ces combustibles, surtout si l'on se limite

(1) Les lampes, dites à *benzine*, qui sont employées sur une grande échelle en Allemagne brûlent en réalité de l'essence de pétrole d'une qualité déterminée.

aux huiles peu volatiles en éliminant les essences légères pures ou mélangées.

Des expériences faites par la Commission anglaise du grisou ont montré que certaines huiles animales étaient préférables aux huiles végétales pour la conservation du pouvoir éclairant et que l'on pouvait avec avantage, sans rien changer aux dispositions des lampes, mêler à ces huiles animales ou végétales la moitié de leur volume d'huile de pétrole.

42. Lampes électriques de mines. — Des essais sont poursuivis depuis un certain nombre d'années pour construire des *lampes électriques* de mines portatives. L'emploi de ces lampes supprimerait complètement les dangers résultant de l'éclairage, tandis que par le perfectionnement des lampes à flamme on n'obtiendra jamais qu'un accroissement de sécurité insignifiant. Les ouvertures, la détérioration qui constituent le principal danger de ces dernières lampes ne sont pas à redouter avec les lampes électriques. Dans les essais faits jusqu'ici, elles n'ont jamais communiqué l'inflammation au gaz que dans une seule condition dont la réalisation même au laboratoire présente de très grandes difficultés: c'est la rupture de l'ampoule de verre non accompagnée de la rupture du filament de

charbon. Presque toujours les deux se brisent ensemble. Une lampe de fabrication anglaise, la lampe Stella qui a été essayée en France aux mines d'Anzin, de Liévin, de Rochebelle, a donné aux expériences des résultats satisfaisants. Elle est composée de deux accumulateurs au plomb reliés à une petite lampe à incandescence de 4 volts ; elle fournit facilement douze heures d'éclairage avec un pouvoir éclairant moyen de $\frac{1}{8}$ de bougie, soit la moitié des lampes ordinaires. La facilité avec laquelle elle peut être inclinée et dirigée dans tous les sens compense dans la pratique l'infériorité de son pouvoir éclairant ; elle peut avec avantage remplacer au point de vue exclusif de l'éclairage les lampes aujourd'hui en usage. Enfin la dépense journalière pour le chargement des accumulateurs serait inférieure à celle qui résulte de la consommation d'huile. A s'en tenir à ces résultats expérimentaux, il semblerait que le problème de l'éclairage électrique des mines est complètement résolu, en réalité il n'en est malheureusement rien. Il y a un côté de la question présentant au point de vue économique une importance capitale qui est enveloppé jusqu'ici d'une obscurité complète. On ignore ce que ces lampes, dont le prix de première acquisition est dix fois supérieur à celui des lam-

pes ordinaires, pourront faire de service. Ce que l'on sait de la rapide destruction des accumulateurs et ampoules de lampes employées à poste fixe fait craindre une détérioration beaucoup plus rapide pour les lampes portatives exposées à des chocs continuels. Ces craintes sont confirmées par le peu d'empressement des constructeurs à se prêter à des essais industriels. Mais si le problème n'est pas résolu aujourd'hui il faut espérer qu'il le sera dans un avenir plus ou moins éloigné.

CHAPITRE IV

--

EXPLOSIFS DE SURETÉ

43 Généralités. — Après la lampe de sûreté, l'usage des explosifs a été dans les mines la cause du plus grand nombre d'accidents, et même ces derniers accidents, quoique moins nombreux, ont produit un plus grand nombre de victimes en raison de la gravité plus considérable de chacun d'eux. On a cru pendant longtemps qu'en dehors de la suppression complète des explosifs il n'y avait aucun moyen d'atténuer leur danger. Les produits de leur combustion atteignent une température de plusieurs milliers de degrés qui devrait largement suffire à allumer un gaz inflammable à 650°.

On est cependant arrivé à trouver des explosifs qui présentent une sécurité relative assez grande, c'est-à-dire qui n'enflamment que rarement le grisou, les résultats sont dus aux travaux de la Commission des substances explosives ; ils ont été exposés dans un rapport de M. Mallard ⁽¹⁾ dont on ne pourra donner ici qu'un résumé bien sommaire.

44. Déflagration et détonation des explosifs. — Pour comprendre comment des explosifs peuvent détoner au milieu du grisou sans l'allumer, il faut rapprocher la propriété capitale du grisou d'exiger un certain temps d'échauffement pour s'allumer de celle des explosifs dits brisants, de présenter un refroidissement extrêmement rapide par suite de la transformation d'une partie importante de leur chaleur en travail mécanique. La propagation de la combustion dans ces explosifs diffère complètement de ce qui se passe avec les poudres proprement dites. Un prisme de poudre noire chauffé en un de ses

⁽¹⁾ MALLARD. — Rapport sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou (*Annales des Mines*, 8^e série, t. XIV, p. 319, 1888).

Notes sur diverses expériences concernant l'emploi des explosifs dans les mines à grisou. (*Annales des Mines*, t. VII, p. 15 et 99, 1889).

points s'enflamme en dégageant de la chaleur qui se transmettra par conductibilité aux parties voisines et en provoquera l'inflammation qui continuera ainsi à se propager de proche en proche. La vitesse de cette propagation intimement liée à la conductibilité est pour la poudre noire à l'air libre d'environ 13 millimètres par seconde. Ce mode de combustion est connu sous le nom de *déflagration*. Un prisme de fulminate de mercure frappé en un de ses points s'enflamme également mais la formation instantanée du gaz ainsi produit exerce sur la région voisine une compression énergique qui en détermine à son tour l'explosion et celle-ci continue à se propager de proche en proche par le même mécanisme. La vitesse de propagation de l'explosion est liée dans ce cas à l'élasticité du corps et non à sa conductibilité thermique, elle est de l'ordre de grandeur de la vitesse du son et peut dépasser 5000 mètres par seconde. Ce mode de combustion s'appelle *détonation*, son mode de propagation est désigné sous le nom d'*onde explosive*. Les deux explosifs pris comme exemple ne présentent normalement qu'un seul des deux modes de combustion, déflagration ou détonation. Mais un grand nombre d'explosifs peuvent présenter l'un ou l'autre de ces modes

de combustion, suivant le procédé d'inflammation employé. Ainsi la dynamite, le coton poudre déflagrent au contact de la flamme d'une allumette et détonent par le choc. Il peut même arriver que spontanément l'un des modes d'explosion se transforme dans l'autre; les ratés de détonation dans l'usage de la dynamite sont un exemple du passage de la détonation à la déflagration, inversement il arrive parfois qu'une cartouche de dynamite allumée avec une flamme après avoir brûlé tranquillement quelques instants se met à détoner brusquement.

Le refroidissement des produits de la combustion qui résulte et d'une transformation de chaleur en travail mécanique et du mélange des gaz brûlés avec l'air ambiant se fait dans ces deux modes d'explosion d'une façon bien différente.

Dans le cas de la déflagration à l'air libre, le travail mécanique, dont la mesure est égale au produit du volume du gaz par la pression atmosphérique, ne représente pas 1 % de la chaleur totale; le mélange des gaz brûlés et chauds avec l'air se fait comme pour toutes les flammes dans une durée de temps qui se chiffre au moins par $\frac{1}{100}$ et même par $\frac{1}{10}$ de seconde. Avec des durées de refroidissement aussi grandes des explosifs à

températures de combustion très basses, inférieures à 1000°, pourraient seuls ne pas allumer le grisou. Or, jusqu'ici on ne connaît pas d'explosifs déflagrants, dont la température de combustion soit inférieure à 2000°. Tous les explosifs déflagrants doivent donc enflammer le grisou.

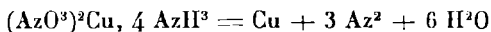
45. Abaissement de température par la détente. — Avec les explosifs brisants le refroidissement est tout autre et se produit avec une vitesse comparable à celle de propagation de la combustion elle-même. Soit une cartouche de dynamite sphérique de 1 centimètre de rayon dont la détonation est provoquée au centre; l'explosion aura atteint la surface au bout de $\frac{1}{500000}$ de seconde, et les gaz produits pendant un temps si court n'auront pas pu en raison de leur inertie se déplacer d'une quantité appréciable. La combustion sera produite à volume constant développant une température d'environ 3000° et des pressions de plusieurs dizaines de milliers d'atmosphère. Ces pressions ne peuvent pas être mesurées, mais leur existence est démontrée d'une façon évidente par les effets mécaniques si puissants que subissent les corps sur lesquels l'explosif est simplement posé. Les gaz comprimés vont bientôt rapidement se détendre avec transformation en travail d'une fraction de leur chaleur sen-

sible ; celle-ci peut être rigoureusement calculée quand on connaît leur pression et leur température initiale. En prenant comme pression initiale 10000 atmosphères, ce qui est de beaucoup inférieur à la réalité, on obtient pour différents explosifs les résultats suivants :

| Explosifs | Température initiale de combustion | Température finale de détente |
|--|------------------------------------|-------------------------------|
| Acide picrique | 2560° | 69° |
| Coton endécannitrique. | 2636° | 304° |
| Nitroglycérine | 3290° | 978° |
| Mélange { 40 p. coton nitrique . . . 60 p. azotate d'ammoniaque | 2450° | 502° |

On voit que la majeure partie de la chaleur peut être transformée en travail et la température abaissée ainsi pour certains explosifs au-dessous de celle d'inflammation du grison. Cette détente est d'ailleurs très rapide et ne doit pas dépasser $\frac{1}{1000}$ de seconde pour la quantité d'explosif considérée ici ; on conçoit donc qu'il puisse y avoir des explosifs dont la détonation n'allume pas le grison. Tous ces calculs supposent expressément que la réaction chimique est

terminée quand la détente commence, autrement dit que la vitesse propre de la réaction est supérieure à celle de sa propagation. Cela semble être le cas de la nitroglycérine ; mais il n'en est pas toujours ainsi ; la réaction chimique peut, pendant la période de détonation proprement dite, s'arrêter à une étape intermédiaire. Ainsi l'azotate de cuivre ammoniacal dont la réaction explosive finale est donnée par l'équation chimique :



donne dans sa détonation à l'air libre de l'oxyde de cuivre des vapeurs nitreuses et de l'ammoniaque. Ces réactions incomplètes sont encore bien plus importantes dans le cas des mélanges mécaniques de différents corps dont les produits de la décomposition directe peuvent réagir mutuellement. L'effet de ces réactions incomplètes sur la température finale après détente peut suivant les cas se faire sentir dans une direction opposée. Si la réaction ne s'achève pas après la détente, la température finale est évidemment abaissée ; mais si elle se continue, donnant en quelque sorte une déflagration partielle après une détonation partielle, la température en est élevée. Ces deux cas se rencontrent dans la pratique.

Enfin il arrive pour certains explosifs brisants, le coton octonitrique par exemple, que, par suite d'un défaut d'oxygène les produits de la réaction renferment du charbon, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène qui peuvent postérieurement à la détente s'enflammer au contact de l'air.

Dans le calcul indiqué plus haut sur l'abaissement de température produit par la détente, on a calculé la quantité de chaleur transformée en travail sans se préoccuper de la nature particulière de ce travail. Ce point mérite d'être considéré de plus près car cette transformation de chaleur en travail n'est que passagère; le travail retourne bientôt à l'état de chaleur il n'a fait que servir au transport de la chaleur en rendant sa diffusion exceptionnellement rapide.

Le travail de la détente d'un explosif détonant à l'air libre est dépensé au premier moment en produisant dans l'air ambiant une onde comprimée qui se propage indéfiniment en s'amortissant progressivement par le fait de la production de chaleur résultant des remous de l'air. La chaleur est ainsi diffusée dans une masse indéfinie d'air, qui ne peut s'échauffer que d'une quantité insensible. Mais ce résultat final a été précédé sur le passage de l'onde comprimée, d'un échauffement beaucoup plus considérable, qui dépasse

certainement la température d'inflammation du grisou au voisinage de l'explosif, là où les pressions sont encore très considérables. Pour que l'inflammation ne se produise pas il faut que la durée de compression en chaque point de l'air soit assez faible pour ne pas donner le temps à la combustion du gaz de commencer. Il est évident que ce temps est d'autant plus grand que la masse de l'explosif qui se détend est plus considérable. Les chances d'inflammation du grisou sont donc d'autant plus fortes que le poids de l'explosif est plus grand.

Quand l'explosif est entouré d'une enveloppe ayant une certaine masse comme les parois d'un tube de plomb, une partie du travail mécanique communiquée au métal sous forme de force vive, n'est plus disponible pour la compression du gaz, les chances d'inflammation en sont d'autant diminuées.

Quand l'explosif au lieu de pouvoir se détendre dans tous les sens est enfermé dans un trou de mine dont les parois ne cèdent pas, les conditions sont au contraire bien plus défavorables, presque tout le travail produit reste emmagasiné dans les gaz de la détonation, partie sous forme de force vive de translation, partie sous forme de force vive des remous intérieurs ; la vi-

tesse de translation se transforme d'ailleurs rapidement au milieu de l'air en remous semblables et bientôt ces remous restituent l'énergie sous forme de chaleur. Aussi dans les coups de mine faisant canon, la température finale des gaz brûlés est nécessairement bien plus élevée.

La projection du bourrage atténue partiellement cet effet d'autant plus que sa masse est plus considérable.

Toutes ces conséquences théoriques sont rigoureusement vérifiées par l'expérience.

46. Influence des explosifs sur l'allumage du grisou. — Les explosifs déflagrants, la poudre noire, enflamment toujours les mélanges combustibles de grisou quelles que soient les conditions de leur emploi.

En plaçant la poudre noire au milieu d'un sac plein d'eau, l'inflammation se produit encore.

Il semble pourtant que, dans un coup de mine bien bourré dont les parois résisteraient à la rupture assez longtemps pour laisser la combustion s'achever, on devrait obtenir par détente un refroidissement analogue à celui des explosifs brisants. Cette conclusion est bien vraisemblable, mais il n'est pas possible dans la pratique de réaliser les conditions voulues. Ou bien les parois ne cèdent pas du tout et l'effet de l'ex-

plosif est nul, ou bien les parois cèdent et elles le font toujours alors avant la fin de la combustion; de la poudre enflammée est projetée dans le gaz qui s'allume.

La température de combustion par son élévation rend l'inflammation de plus en plus certaine. Le mélange en proportion variable de dynamite et d'azotate d'ammoniaque donne des explosifs dont la température de détonation peut varier de 1250° à 2960°. L'expérience a montré que des cartouches semblables de 50 grammes détonant à l'air libre n'allument pas le grisou, quand leur température de combustion est inférieure à 2200°, ce qui correspond à la composition, 60 parties de dynamite et 40 parties d'azotate d'ammoniaque. Elles l'allument à coup sûr pour les proportions de dynamite supérieures.

L'influence de la masse des enveloppes solides, qui entourent l'explosif et peuvent absorber une partie de son énergie, se démontre en enfermant des cartouches de dynamite, des amorces de fulminate dans des tubes métalliques d'épaisseur croissante. Ainsi une cartouche de dynamite de 50 grammes enfermée dans un tube d'étain de 25 millimètres de diamètre intérieur et 3 millimètres d'épaisseur allume le grisou, tandis qu'elle ne le fait plus lorsque le diamètre intérieur restant

le même, l'épaisseur est portée à 7 millimètres. Les mesures calorimétriques ont montré que la fraction de l'énergie absorbée par la projection du tube est de 20 % dans le premier cas et de 33 % dans le second. Certaines amorces au fulminate de mercure, les amorces non renforcées de la marine, allument régulièrement le grisou ; elles cessent de le faire lorsqu'on les entoure d'un fil de cuivre de un demi-millimètre de diamètre enroulé à spires serrées.

La *pression initiale* des gaz qui se détendent a une influence non moins nette : on peut la faire varier pour un même explosif en faisant varier sa densité de chargement, c'est-à-dire le poids d'explosif renfermé dans l'unité de volume. Ainsi les amorces au fulminate de mercure renforcées n'allument pas le grisou, tandis que les amorces non renforcées qui sont moins comprimées et par suite ont une densité de chargement moindre, l'allument. La dynamite, qui sous la charge de 50 grammes n'allume pas le grisou dans les tubes d'étain de 25 millimètres sur 31 millimètres de diamètre, l'allume dans les mêmes tubes quand, au lieu de remplir tout le diamètre des tubes, on y laisse un espace annulaire vide.

L'accroissement de *poids* des cartouches d'ex-

plosifs augmente l'aptitude qu'elles ont pour allumer le gaz. Les mélanges de 60 dynamite et 40 azotate d'ammoniaque qui n'allument pas le grisou à la charge de 50 grammes l'allument à la charge de 100 grammes. Les mélanges de 20 coton octonitrique et 40 azotate d'ammoniaque qui n'allument pas à la charge de 100 grammes allument à la charge de 200 grammes.

Enfin l'influence des *coups de mine débourrants* sur l'inflammation du gaz a été très nettement établie par des expériences faites aux mines de Liévin sous la direction de M. Simon (1) ingénieur divisionnaire de ces mines. Les explosifs 20 dynamite, 80 azotate d'ammoniaque et 9,5 coton octonitrique, 90 azotate d'ammoniaque qui n'allument pas le *gaz d'éclairage* en détonant à l'air libre sous la charge de 50 grammes, l'allument lorsqu'ils sont chargés sans bourrage dans un canon d'acier; il suffit d'un bourrage de sable de 0^m,02 de hauteur pour empêcher l'inflammation. Avec une charge plus forte de 200 grammes il faut un bourrage plus épais de 0^m,05. Cet accroissement du dan-

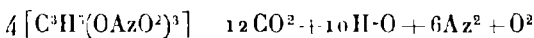
(1) SIMON. — *Note relative à des essais faits aux Mines de Liévin, sur les explosifs de sûreté.* Annales des mines, 8^e Série. t. XVIII, p. 580, 1890.

ger des coups débourrants résulte dans ce cas et des considérations théoriques développées plus haut sur le mode de diffusion de la chaleur et aussi de ce que ces explosifs détonent très incomplètement à l'air libre et dégagent par suite moins de chaleur que dans un tube à parois épaisses. Le bourrage suffit encore à atténuer le danger d'explosifs à température de combustion beaucoup plus élevée tels que la dynamite gomme. Une charge de 55 grammes bourrée de $0^m,30$ n'allume pas le gaz d'éclairage. Les bourrages suffisants dans le grisou, ont été trouvés plus faibles encore.

47. Calcul de la limite inférieure des températures d'explosion. — Des diverses conditions dont dépend la plus ou moins grande sécurité des explosifs, la température de combustion est celle qui a l'influence prépondérante ; c'est aussi la seule qui soit déterminée par la nature de l'explosif et qui ne puisse être altérée par la négligence des ouvriers chargés de les employer. Il y a donc grand intérêt à obtenir, par le seul moyen de l'abaissement de cette température, la plus grande somme de sécurité possible.

Cette température de combustion peut facilement être calculée quand on connaît la formule

de la réaction chimique produite. Soit, par exemple, la nitroglycérine dont la formule de réaction est :



La quantité de chaleur dégagée dans cette réaction s'obtiendra en retranchant la chaleur de formation de l'explosif à partir de ses éléments simples, que l'on trouve dans les tableaux de thermochimie, de la chaleur de formation de l'acide carbonique et de l'eau qui sont produits, comptée à partir des mêmes éléments. On a ainsi :

$$q = 428,5 - 98,9 - 329^{\text{cal}},6$$

Mais les données numériques de thermochimie se rapportent presque toujours aux réactions effectuées à pression constante. Il faut dans ce cas augmenter le nombre ainsi calculé de $n \cdot 0^{\text{cal}},5$. En appelant n le nombre de molécules gazeuses, (22 litres) produites dans la réaction considérée ce nombre est ici de 7,25. D'où la chaleur de détonation à volume constant de la nitroglycérine :

$$q = 329,6 + 0,5 \times 7,25 = 336,85$$

Connaissant cette quantité de chaleur et la chaleur spécifique du gaz à volume constant, on peut déduire la température de combustion par la formule connue

$$q = \int_{t_0}^t c dt$$

où c est la chaleur spécifique du mélange gazeux. En remplaçant c par son expression en fonction de t qui est de la forme

$$c = a + bt$$

On arrive à une équation du second degré facile à résoudre.

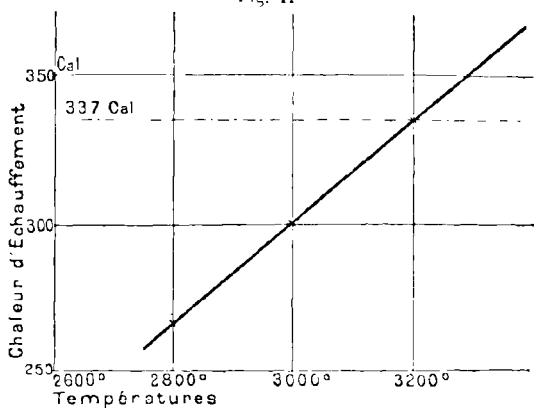
Mais pour éviter les erreurs de calcul toujours possibles, il est préférable de résoudre cette équation par la méthode graphique en se servant des valeurs numériques des chaleurs d'échauffement du gaz qui ont été calculées pour chaque température. On a toujours, par analogie avec d'autres exemples semblables, une idée de la température cherchée. Pour la nitroglycérine, explosif à combustion complète, cette température doit être voisine de 3000°. On calcule alors la chaleur

d'échauffement des produits de la combustion pour les températures voisines.

| Produits de la combustion | 2800° | 3000° | 3200° |
|---|-------|-------|-------|
| $3C^2O^4$ | 140,5 | 157,5 | 175 |
| $3,5H^2O^2$ | 98,5 | 110 | 121,5 |
| $1,75 \left\{ \begin{array}{l} Az^2 \\ O^4 \end{array} \right.$ | 31 | 34,2 | 37,1 |
| Total . . | 278 | 301,7 | 334,5 |

Puis on trace la courbe ayant pour abscisses et

Fig. 11



ordonnées les température et chaleur d'échauffement correspondantes (*fig. 11*).

Et par le point de l'axe des ordonnées correspondant à la chaleur de décomposition de la nitroglycérine, soit 337^{cal} , on trace une parallèle à l'axe des abscisses qui coupe la courbe en un point dont l'abscisse donne précisément la température cherchée qui est de 3200° .

Lorsque, comme dans le cas du coton poudre, l'explosif ne renferme pas assez d'oxygène pour brûler tout le carbone, il se forme à la fin les quatre corps



dans des proportions qui ne peuvent être rigoureusement déterminées. Le maximum de chaleur correspondant à la formation de l'acide carbonique, on doit faire le calcul avec cette hypothèse qui est la moins favorable. Mais généralement les écarts des températures résultant de l'achèvement de la réaction dans un sens ou dans l'autre sont assez faibles.

Les chaleurs de formation de tous les explosifs n'ont pas été déterminées directement ; mais on peut les calculer *a priori* avec une assez grande approximation au moyen des deux règles suivantes qui découlent des mesures effectuées jusqu'ici :

La chaleur de substitution dans un composé organique d'une molécule d'acide azotique mono-

hydraté ($\text{AzO}^3\text{H} = 63^{\text{sr}}$) à une molécule d'eau ($\text{H}^2\text{O} = 18^{\text{sr}}$), ces deux corps étant pris dans l'état liquide, dégage

| | |
|--|----------------------|
| Dans la glycérine. | 4 ^{cal} ,9 |
| Dans la cellulose | 12 ^{cal} |
| Dans la benzine, la naphthaline, le phénol, et les composés analogues aux précédents | 36 ^{cal} ,5 |

Si donc on appelle Q la chaleur de formation du composé, à partir de ses éléments, X celle de l'explosif et n le nombre de molécules d'acide nitrique substituées :

$$X = Q + 41,6 - 69 + n \begin{cases} 12 \\ 4,9 \\ 36,5 \end{cases}$$

$$= Q + n \begin{cases} - 15 \text{ cellulose} \\ - 22 \text{ glycérine} \\ + 9 \text{ carbures d'hydrogène, phénol.} \end{cases}$$

La température de détonation des explosifs *simples* étudiés jusqu'ici est résumée dans le tableau ci-après. On a désigné sous le nom d'explosifs simples ceux qui sont constitués par un composé chimique unique ou un mélange homogène de plusieurs composés, tel que la dissolution de coton octonitrique dans la nitroglycérine qui constitue la dynamite gomme, ou par un mélange d'explosif semblable avec une matière

inerte (silice), mais qui ne renferme pas de mélanges mécaniques de plusieurs composés chimiques distincts :

| | |
|--|-------|
| Dynamite gomme à 8 % de coton | 3090° |
| Nitroglycérine | 3200 |
| Dynamite n° 1 à 25 % de silice | 2040 |
| Acide picrique | 1560 |
| Coton endécanitrique | 2650 |
| Coton octonitrique. | 2060 |
| Azotate de cuivre ammoniacal | 1750 |
| Azotate d'ammoniaque | 1130 |

Le dernier de ces corps n'est pas à proprement parler un explosif ; seul il ne détone pas d'une façon complète sous l'action du fulminate de mercure. Mais mêlé à d'autres explosifs et en quantité convenable, il détone parfaitement en abaissant la température de combustion de l'explosif auquel il est mêlé et cela plus ou moins complètement, suivant que l'explosif ajouté donne ou non par sa décomposition du gaz combustible qui, en se combinant à l'oxygène disponible de l'azotate d'ammoniaque, fournisse un nouveau supplément de chaleur. Tous les explosifs de sûreté employés aujourd'hui en France dans les mines à grisou sont constitués par de semblables mélanges dans lesquels l'azotate d'ammoniaque est de beaucoup l'élément prépondérant. On

cherche à augmenter autant que possible la proportion de ce sel pour abaisser la température d'inflammation, mais l'on est limité par l'aptitude à la détonation qui décroît rapidement.

48. Aptitude à la détonation. — L'aptitude à la détonation ne dépend pas seulement de la nature de l'explosif, mais aussi des conditions dans lesquelles il est employé. Dans un vase clos à parois résistantes, la détonation est plus facile qu'à l'air libre; un explosif en poudre détone plus facilement que lorsqu'il est comprimé. Mais la réalisation de ces conditions favorables à la détonation est en grande partie incompatible avec les nécessités de la pratique. Ainsi les seuls explosifs capables de détoner convenablement dans un trou de mine, sont ceux qui détonent déjà complètement à l'air libre. Des explosifs qui, dans les expériences en vase clos, avaient donné de bons résultats ont complètement échoué quand on a voulu les employer dans la mine. Cela tient à ce qu'il reste nécessairement un vide entre la cartouche et les parois toujours irrégulières du trou, et surtout entre les diverses cartouches consécutives placées dans le trou, ce qui empêche la propagation de la détonation d'une cartouche à l'autre. L'emploi de l'explosif pulvérulent a le grave inconvénient d'exiger

le forage d'un plus gros trou de mine pour loger le même poids d'explosif, et surtout de diminuer considérablement son effet utile parce que la pression maxima obtenue décroît très rapidement avec la densité de chargement. On s'arrête généralement à un système mixte qui consiste à employer l'explosif sous forme de rondelles comprimées percées au centre. Par la superposition de ces rondelles dans la cartouche, on réserve un vide central qui est rempli d'explosif pulvérulent destiné à servir de détonateur intermédiaire.

49. Explosifs de sûreté. — Les explosifs à plus faible température de détonation dont l'emploi s'est montré pratique dans les mines et qui font aujourd'hui en France l'objet d'une fabrication courante sont les suivants :

| Composition | | Température de détonation |
|--------------------------|---|---------------------------|
| Azotate d'ammoniaque, 80 | Dynamite n° 1, 20 | 1768° |
| „ | 88 Dynamite gomme à 2 0/0 de coton, 12. | 1793° |
| „ | 90,5 Coton octonitrique 9,5 | 1750° |
| „ | 95,5 Trinitronaphtaline 4,5 | 1745° |

Ces explosifs ont, dans les expériences préliminaires, pu détoner à l'air libre sous la charge de 200 grammes dans des mélanges explosifs de gri-

sou sans les allumer. A la charge de 50 grammes ils n'allument pas non plus les mélanges beaucoup plus inflammables fournis par le gaz d'éclairage. Ces explosifs ne semblent pas susceptibles d'éprouver, au moins à l'air libre, le mode de décomposition dit déflagration analogue à la combustion de la poudre noire. Quand le régime de détonation vient à cesser, l'extinction complète se produit ; on n'a pas à redouter les ratés de détonation qui se produisent parfois avec certains explosifs brisants, la dynamite par exemple. Ce sont là les explosifs les plus sûrs actuellement connus.

Une seconde catégorie d'explosifs un peu plus puissants que les précédents, par suite à température de détonation plus élevée et partant un peu moins sûrs, sont également fabriqués en France et employés dans les mines grisouteuses pour l'abatage des roches particulièrement dures :

| Composition | | Température de détonation |
|--------------------------|---|---------------------------|
| Azotate d'ammoniaque. 60 | Dynamite n° 1. 40 | 1800° |
| " | 70 Dynamite gomme à 2 0/0 de coton. 30. | 1815° |
| " | 85 Coton octonitrique 15 | 1770° |
| " | 91,5 Binitronaphthaline 8.5. | 1875° |

Ces explosifs moins sûrs que les précédents en raison de leur température de combustion plus élevée ont, de plus, l'inconvénient de pouvoir présenter accidentellement la combustion par déflagration. Dans les expériences de laboratoire la déflagration n'a jamais pu être obtenue par l'action d'une flamme ou de charbon ardent, mais dans les mines on a observé parfois de semblables déflagrations à la suite des ratés de détonation.

La déliquescence de l'azotate d'ammoniaque oblige de conserver ces explosifs dans des enveloppes absolument imperméables à l'humidité. On emploie généralement à cet effet des papiers enduits de paraffine, cire, ou suif. Les enveloppes de matières combustibles sont une source de danger sérieux ; dans la détonation à l'air libre elles n'ont jamais le temps de s'enflammer et par suite ne peuvent amener l'inflammation du gaz ; il n'en est plus de même dans les trous de mine où les gaz chauds restent plus longtemps en contact avec l'enveloppe et quelques inflammations ont été constatées dans diverses mines. Aux mines de Blanzy, dans des observations instituées à cet effet, la proportion a été de 1 % avec des papiers épais suiffés ; elle a été nulle avec des papiers minces paraffinés. Ces enveloppes en papier

devraient être remplacées par des enveloppes métalliques en plomb ou étain formées, soit par des tubes emboutis, soit par des feuilles minces enroulées et collées. La réalisation de ce perfectionnement indispensable n'a été arrêté jusqu'ici que par la légère augmentation de prix de revient qui en résulterait.

De nombreuses tentatives ont été faites pour abaisser la température de détonation des explosifs brisants par l'addition de matières qui se décomposent par l'élévation de température en absorbant de la chaleur, principalement des sels hydratés, tels que le sulfate de magnésic, l'alun. Ce procédé même peut sembler plus rationnel à première vue que celui qui consiste à ajouter un corps dont la décomposition dégage de la chaleur comme l'azotate d'ammoniaque et qui n'abaisse la température que grâce à l'augmentation de la masse des gaz produits. En fait ce procédé est peu efficace parce que les décompositions qui se font avec absorption de chaleur exigent l'échauffement du corps qui met toujours un temps relativement long à se produire. Il faut pour empêcher l'inflammation du gaz employer un très grand excès de sel et le prendre à un très grand état de division ; on constate dans la détonation à l'air libre qu'il n'y a que quelques centièmes du sel

décomposé. Dans un trou de mine la décomposition doit être un peu plus avancée en raison du contact plus prolongé des gaz chauds; ce refroidissement plus complet augmente la sécurité, mais aussi diminue considérablement la puissance de l'explosif. Un explosif semblable employé en Belgique est composé de parties égales de dynamite gomme et de sulfate de magnésie; sa sécurité serait comparable à celle de l'explosif 20 dynamite et 80 azotate d'ammoniaque; mais sa force est moindre et son prix de revient doit être plus élevé. Les mélanges à poids égaux de dynamite ordinaire à 25 % de silice avec le carbonate de soude, le sulfate de soude, l'alun ammoniacal, le chlorhydrate d'ammoniaque se comportent de la même façon. Il n'est pas impossible que l'accroissement de sécurité résultant du mélange de ces corps soit dû en partie à la force vive qu'ils absorbent pour être projetés par les gaz de la détonation et qu'ils jouent ainsi un rôle analogue à celui du bourrage. La sécurité obtenue par ces mélanges est toujours assez précaire parce qu'elle dépend exclusivement de la finesse des matières et de l'intimité de leur mélange; ces deux conditions sont au contraire sans influence pour les mélanges renfermant de l'azotate d'ammoniaque

parce que la décomposition de ce corps peut continuer à être complète sans que le mélange soit très intime.

Après l'abaissement de la température de détonation, la condition qui a le plus d'action sur la sécurité de l'emploi des explosifs est la grandeur du travail mécanique qu'ils effectuent. Pour augmenter ce travail de détente, il faut accroître la pression initiale et par suite la densité de chargement; il y a donc intérêt à remplir l'espace vide qui existe inévitablement entre la cartouche et les parois; on augmente ainsi, du même coup, l'effet utile de l'explosif. Ce résultat est obtenu très facilement en plaçant au fond du trou avant l'introduction des cartouches d'explosifs des matières gélatineuses telles que la bourre Chalon-Guérin, ou plus simplement de la colle de pâte coulée dans des tubes en papier. Ces matières refluent autour des cartouches et remplissent l'espace vide; il faut éviter que l'eau ne pénètre dans les explosifs à l'azotate d'ammoniacque, ce qui les empêcherait de détoner; ce danger est à craindre pour la première cartouche seule qui a dû être ouverte pour introduire le détonateur. Le plus simple est d'employer pour la cartouche amorce 25 grammes de dynamite. Cet explosif ne craint pas l'eau et, à charge aussi

réduite, son emploi ne saurait être dangereux.

Dans le cas des coups débourrants, le bourrage seul est projeté et sa force vive seule amène une dépense de chaleur ; il y a donc grand intérêt pour atténuer le danger, toujours très grave de ces coups, de donner au bourrage la plus grande longueur possible. On ne doit pas descendre au-dessous de cinq centimètres par 100 grammes d'explosifs de sûreté. Dans les cas où l'on voudrait chercher à atténuer le danger d'explosifs brisants, à température de détonation très élevée comme la dynamite gomme, il faudrait au moins employer une hauteur de bourrage triple.

50. Allumage des coups de mine. — Les procédés qui servent à la *mise de feu* des explosifs sont, comme les explosifs eux-mêmes, une source de dangers très sérieux. La détonation des explosifs brisants est toujours provoquée au moyen d'un détonateur au fulminate de mercure renfermant de 0^{sr},5 à 1^{sr},5 de fulminate. Ces détonateurs ne présentent en eux-mêmes aucun danger, mais il n'en est pas de même pour la mèche qui sert à les allumer. Actuellement, les seuls procédés de tirage des coups de mine qui présentent une sécurité quelconque en présence du grisou, sont fournis soit par les amorces à

friction dans lesquelles la détonation du fulminate est provoquée par l'arrachement d'un rugueux comme dans les étoupilles des canons soit par les amorces électriques dont l'inflammation est obtenue par des courants à faible tension. Il ne semble pas impossible cependant de perfectionner la mèche ordinaire de façon, à rendre sa combustion sans danger; différents procédés permettent déjà d'effectuer son allumage dans des capacités closes isolées de l'air de la mine. L'économie qui résulte de l'emploi de la mèche rend très désirable la réalisation de semblables perfectionnements.

Les mèches, telles qu'elles sont aujourd'hui fabriquées, devraient être proscrites des mines à grisou et remplacées par les amorces électriques à faible tension ou les amorces de friction qui sont les unes et les autres sans danger.

51. Calcul théorique de la pression d'une charge explosive. — Dans les recherches qui peuvent être poursuivies afin de trouver de nouveaux explosifs convenables pour l'exploitation des mines à grisou on a à se préoccuper non seulement de la température dont dépend la sécurité mais encore de la pression d'explosion dont dépend l'effet utile. Cette pression peut, comme la température, être calculée *a priori* en se don-

nant bien entendu le volume dans lequel on fait détoner un poids connu de l'explosif, c'est-à-dire sa densité de chargement.

La loi de Mariotte n'est plus applicable aux pressions élevées que produisent les explosifs, elle doit être modifiée en remplaçant dans la formule $PV = c^te$, le volume V par la différence entre ce volume et une quantité constante v appelée co-volume qui est le millième du volume de la même quantité de gaz mesurée à la température de 0° et à la pression de 760. La loi de Gay-Lussac à volume constant est encore rigoureusement applicable dans ce cas aux températures élevées. On a donc dans le cas des explosifs la formule

$$P (V - v) = R (273 + t)$$

ou en appelant n le nombre de molécules gazeuses (une molécule est la quantité de gaz qui occupe $22^{lit},32$ à la température de 0° et à la pression de 760), exprimant les pressions P en kilogrammes par centimètre carré, les volumes V en litres.

$$P \left(V - n \frac{22,32}{1000} \right) = n 0,0843 (273 + t)$$

En appliquant cette formule à la nitroglycérine chargée à raison d'un équivalent pesant 227 grammes dans un litre, on a, comme cela a été dit plus haut :

$$n = 7.25 \quad t = 3200$$

on en déduit

$$P = 2500^{\text{kg}}.$$

Cette formule ne peut être rigoureusement appliquée qu'aux pressions inférieures à 10000 kilogrammes car sa vérification expérimentale n'a pu être poussée au-delà de 5000 kilogrammes. Quand on veut l'appliquer aux explosifs détonant sous leur propre volume, on est conduit à calculer des pressions négatives ; cela montre, ou bien que la formule n'est plus exacte aux pressions très élevées ou plus vraisemblablement que l'excès de pression s'oppose à la production des réactions chimiques qui accompagnent la détonation et que la décomposition des explosifs cesse d'être possible lorsqu'ils sont enfermés dans un volume trop petit.

On met souvent cette formule sous une forme un peu différente dans laquelle, au lieu du volume, la densité de chargement Δ , c'est-à-

dire le nombre de kilogrammes d'explosifs renfermés dans un litre.

En appelant E le poids en kilogrammes de la substance contenue dans le volume en litres V qui donne n molécules de gaz, nous avons la relation

$$V = \frac{E}{\Delta}$$

qui, reportée dans l'équation ci-dessus, donne, après avoir divisé par V les deux membres

$$P \left(1 - \frac{n}{E} \cdot \frac{22,32}{1000} \cdot \Delta \right) = \frac{n}{E} \cdot 0,0843 (273 + t) \Delta$$

ou

$$P = \frac{f \Delta}{1 - \alpha \Delta}$$

en posant

$$f = \frac{n}{E} \cdot 0,0843 (273 + t)$$

et

$$\alpha = \frac{n \cdot 22,32}{E \cdot 1000}$$

Ces deux grandeurs f et α ne dépendent que de la nature chimique de l'explosif et nullement des conditions de son emploi ; ce sont des constantes caractéristiques qui, une fois déterminées, permettent de calculer très simplement la pression produite par l'explosif dans des circonstances données. Pour déterminer le coefficient $\frac{n}{E}$ on peut évidemment choisir arbitrairement E , car n lui est proportionnel ; le plus simple est de prendre le poids équivalent de la substance. Quand on applique cette formule, on remarque que le terme α varie peu d'un explosif à l'autre, de sorte que pour les densités de chargement pas trop élevées, la pression P varie d'un explosif à l'autre, à densité de chargement égal, proportionnellement au coefficient f , qui pour ce motif est souvent employé pour caractériser la force des explosifs et estimer leur puissance relative. Le tableau suivant donne pour les principaux explosifs, les valeurs de α , celles de f , les valeurs de P pour une densité de chargement de 0,5 et les températures :

| Explosifs | ρ | α | P | t |
|--|--------|----------|------|------|
| Dynamite gomme | 9050 | 0,710 | 7000 | 3090 |
| Dynamite n° 1 | 8490 | 0,710 | 6580 | 2940 |
| Coton endécanitrique | 9460 | 0,860 | 8250 | 2650 |
| Coton octonitrique | 8630 | 0,974 | 8350 | 2064 |
| Acide picrique | 9600 | 0,877 | 8570 | 2620 |
| EXPLOSIFS A L'AZOTATE D'AMMONIAQUE | | | | |
| 0,125 Binitronaphtaline | 8405 | 0,912 | 7700 | 2163 |
| 0,30 Dynamite gomme | 7088 | 0,897 | 6430 | 1815 |
| 0,40 Dynamite n° 1 | 6850 | 0,900 | 6200 | 1800 |
| 0,15 Coton octonitrique | 7000 | // | // | 1770 |
| 0,085 Binitronaphtaline | 7600 | 0,940 | 7150 | 1875 |
| 0,75 Azotate de cuivre ammo- niacal | 6090 | 0,796 | 5150 | 1750 |
| 0,12 Dynamite gomme | 6460 | 0,942 | 6100 | 1493 |
| 0,20 Dynamite n° 1 | 6208 | 0,944 | 5940 | 1468 |
| 0,095 Coton octonitrique | 6600 | // | // | 1450 |
| 0,045 Trinitronaphtaline | 5500 | 0,955 | 5250 | 1445 |
| Azotate d'ammoniaque | 5180 | 0,976 | 5080 | 1130 |

On voit par le chiffre des pressions correspondant à 0,5 que les explosifs ayant une température de détonation de 1800 ont une force à peine supérieure à celle des explosifs de 1500. L'écart serait moindre encore pour des densités de chargement supérieures.

BIBLIOGRAPHIE

—

GÉNÉRALITÉS

- HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — Rapport présenté au nom de la Commission du grisou. (*Annales des Mines*, 7^e série ; XVIII, 193).
- JANET. — Traduction par extrait du rapport de la Commission prussienne du grisou. (*Annales des Mines*, 8^e série ; VIII, 600).
- PELLÉ. — Analyse des rapports de la Commission prussienne du grisou. (*Annales des Mines*, 8^e série ; IX, 598).
- MALLARD et LE CHATELIER. — Sur les travaux de la commission prussienne du grisou. (*Annales des Mines*, 8^e série ; IX, 638).
- LORIEUX. — Résultats de l'enquête faite en Angleterre par une commission spéciale sur les accidents des mines (*Annales des Mines*, 8^e série ; X, 103).
- WARRINGTON SMYTH. — (*Traduction*). Rapport de la Commission anglaise du grisou. (*Revue*

- universelle des Mines de Cuyper*, 2^e série ; XXII, 121, 216 et 433).
- CHESNEAU. — Analyse des rapports de la Commission autrichienne du grisou. (*Annales des Mines*, 9^e série ; I).
- AGUILLOX et PERNOLET. — Rapport de mission sur un voyage en Belgique, Allemagne et Angleterre (*Publication de la commission du grisou*. Dunod, 1881).
- JAMIN. — Le grisou. (*Revue des Deux-Mondes*, 1880).
- CHESNEAU. — Analyse des travaux de la Commission autrichienne du grisou. (*Annales des Mines*, 1892).

PROPRIÉTÉS DU GRISOU

- DAVY. — Le grisou. (*Annales de Physique et de Chimie*, 1^{re} série t. 1).
- MALLARD et LE CHATELIER. — Recherches expérimentales et théoriques sur la combustion des mélanges gazeux explosifs. (*Annales des Mines*, janvier, février, 1882).
- MALLARD. — Sur la non-inflammabilité du grisou par les étincelles provenant du choc de l'acier. (*Annales des Mines*, 8^e série ; XVIII, 699).

- DE MARSILLY. — Sur les gaz dégagés de la houille. (*Annales des Mines*, 5^e série ; XII, 357).
- LECLERC. — Sur l'impossibilité d'enflammer le grisou par les étincelles d'un pic. (*Industrie Minérale*, 3^e série ; III, 1015).

GISEMENT ET DÉGAGEMENT DU GRISOU

- E. VAUX. — Des dégagements instantanés du grisou. (*Société de l'Industrie Minérale*. 1^{re} série ; XII, 411 et *Revue des Mines de Cuyper*, 1^{re} série ; XIX, 281).
- DUFRAÏE. — Dégagements instantanés de grisou. *Industrie Minérale*, 3^e série ; I, 547).
- HARZÉ. — Mesures à prendre contre les dégagements instantanés de grisou. (*Ibid* ; 3^e série, I, 656).
- ARNOULT. — Etudes sur les dégagements instantanés de grisou. (*Annales de travaux publics de Belgique*, XXXVII, 1).
- MALLARD. — Sur les pressions du grisou dans la houille d'après les expériences de Lindsay Wood. (*Annales des Mines*, 8^e série ; I, 530).
- CORNET. — *Sur la pression du grisou*. (Académie royale de Belgique, mai 1879).

LAMPES DE SÛRETÉ

- DAVY. — Lampe de sûreté pour les mineurs.
(*Annales des Mines*. 1^{re} série; I, 177; VIII, 209-222; X, 27).
- BLAVIER. — Rapport sur la lampe de sûreté Dubrulle (*Annales des Mines*, 5^e série; XI, 105).
- PARRAN. — Note sur la lampe électrique de Dumas et son application au tirage des coups de Mine (*Annales des mines*, 5^e série; IV, 455).
- DUMAS. — Note descriptive d'une lampe photo-électrique (*Société de l'industrie Minérale*, 1^{re} série; IX, 5).
- MALLARD. — Rapport sur la lampe Dumas. (*Ibid*, IX, 113).
- LEDOUX. — Note sur la lampe Dumas. (*Ibid*, IX, 118).
- CALLON. — Lampe de sûreté de M. Dubrulle. (*Ibid*, I, 275).
- PARENT. — Description d'un appareil à nettoyer la lampe de sûreté. (*Ibid*, III, 97).
- PARRAN. — Considération sur quelques lampes à gaz et sur quelques effets du grisou. (*Ibid*, VII, 331).
- MALLARD. — Rapport de la Commission d'expériences de Saint-Étienne sur les lampes de sûreté. (*Ibid*. XIII, 723).

- DUBRULLE. — Lampe de sûreté. (*Ibid*, 2^e série ; XI, 989).
- MARSAUT. — Etude sur la lampe de sûreté des mineurs. (*Ibid*, 2^e série ; 321).
- MARSAUT. — Etude d'une nouvelle lampe de sûreté. (*Ibid*, 2^e série ; XIII, 181).
- DEVAUX. — Rapport sur la lampe de sûreté de M. Mueseler. (*Annales des travaux publiés de Belgique*, I, p. 309).
- MALLARD. — De la vitesse avec laquelle se propage l'inflammation dans les mélanges d'air et de grisou et de la théorie de la lampe de sûreté. (*Annales des Mines*), 7^e série ; VIII, 355).
- MALLARD et LE CHATELIER, — Sur les lampes de sûreté à propos des récentes expériences de M. Marsaut. (*Annales des Mines*, 8^e série ; III, 35).
- JANET. — Sur un système de rallumage intérieur des lampes de sûreté (*Annales des Mines*, 8^e série ; XI, 191).
- JANET. — Note sur divers systèmes de fermeture des lampes de sûreté. (*Annales des Mines*, 8^e série ; XVII, 564).
- MALLARD. — Sur les lampes électriques de mines. (*Ibid*, 8^e série ; XVIII, 699).
- LE CHATELIER. — Rapport au congrès interna-

tional des mines de 1889 sur les lampes de sûreté (*Industrie Minérale*, III, 575).

MALLARD et LE CHATELIER. — Influence du recuit sur la résistance des verres de lampes. (*Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou*, 2^e fascicule, p. 67, Dunod, 1880).

FUMAT. — Note sur une nouvelle lampe de sûreté (*Alais, imprimerie Brugueirolle*, 1884).

EXPLOSIFS

MALLARD. — Rapport sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou. (*Annales des Mines*, 8^e série ; XIV, 197 et 319).

MALLARD. — Notes sur diverses expériences concernant l'emploi des explosifs dans les mines à grisou. (*Ibid*, XVII, 15 et 99).

SIMON. — Note relative à des essais faits aux mines de Liévin sur les explosifs de sûreté (*Ibid*, 8^e série ; XVIII, 580).

MALLARD. — Rapport au congrès des Mines de 1889, sur l'emploi des explosifs dans les mines à grisou. (*Industrie Minérale*, 3^e série ; III, 659).

BRUNEAU. — Etudes faites à l'Exposition de 1889.
(*Mémorial des poudres et salpêtres*, 1891).

AÉRAGE ET CONTROLE DU GRISOU

MURGUE. — Essai sur les machines d'aérage (*Industrie Minérale*, 2^e série ; II, 445 ; IV, 747 ; XX, 5 ; XV, 81 ; X, 119 ; XIII, 673 et 3^e série ; III, 5 et 391). Comparaison des différents appareils de ventilation en usage dans le Gard. (*Ibid*, 2^e série ; VII, 477 713).

FRANÇOIS. — Expérience sur le ventilateur Sô. (*Ibid*, 2^e série, XV, 89).

VICAIRE. — Expériences sur l'aérage des mines à grisou. (*Ibid*, 2^e série ; IV, 5).

COQUILLON. — Appareil servant à doser le grisou dans les mines. (*Ibid*, 2^e série ; VI, 431).

SIMON. — Note sur la lampe Pieler. (*Ibid*, 3^e série ; I, 299).

PIELER. — (*Traduction*). Méthode pour reconnaître la qualité de l'air qui circule dans les mines. (*Revue Universelle des Mines*, 2^e série ; XV, 140).

MALLARD ET LE CHATELIER. — Sur les procédés propres à déceler la présence du grisou dans l'atmosphère des mines. (*Annales des Mines*, 7^e série ; XIX, 186).

- MALLARD ET LE CHATELIER. — Sur l'indicateur de grisou de M. Liveing. (*Annales des Mines*, 8^e série; III, 31).
- CASTEL. — Note sur l'appareil Coquillion pour l'analyse du grisou. (*Annales des Mines*, 7^e série; XX, 509).
- HARZÉ. — De l'aérage des travaux préparatoires dans les mines à grisou. (*Revue des Mines de Cuyper*, 1^{re} série, XX, 428).
- AGUILLON (E). — Sur les appareils de contrôle et de surveillance de l'aérage des mines. (*Annales des Mines*, 7^e série; XX, 248).
- BAYARD. — Avertisseur de grisou de Th. Shaw. (*Ibid.* 8^e série; XIX, 379).
- LE CHATELIER. — Note sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité. (*Ibid.* 8^e série; XIX, 396).
- LE CHATELIER. — Rapport sur le grisoumètre de M. Coquillion. (*Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou*, 1^{er} fascicule, p. 92. Dunod, 1881).

ACCIDENTS ET RÉGLEMENTATION

- VERPILLEUX. — Note sur un système de portes destinées à localiser les accidents de grisou. (*Industrie Minérale*, 1^{re} série; IX, 465).

MALLARD et VICAIRE (E). — Note sur l'accident de Frameries. (*Annales des Mines*, 7^e série ; XV, 575).

AGUILLOX. — Sur les explosions survenues aux houillères de Seaham et de Penygraig. (*Annales des Mines*, 7^e série ; XX, 248).

LALLEMAND. — Statistique générale des accidents de grisou en France. (*Annales des Mines*, 8^e série ; X, 521).

BELLOM. — Sur la statistique des accidents dans les mines allemandes. (*Annales des Mines*, 8^e série ; XVIII, 459).

DE CASTELNAU. — Note sur une explosion de grisou survenue aux mines de Portes et Sénéchas. (*Ibid.* XIII, 526).

LAURENT. — Note sur l'accident de la Machine (Nièvre). (*Annales des Mines*, 8^e série ; XIX, 396).

REGNARD. — Premiers soins à donner aux ouvriers blessés après les explosions de grisou. (*Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou*, 2^e fascicule, p. 161, Dunod).

LAMÉ FLEURY. — Traduction des deux lois anglaises sur les mines du 28 août 1860 et du 7 août 1862. (*Annales des Mines*, 7^e série ; II, 182).

Du SOUCH. — Rapport sur la réglementation de l'exploitation dans les mines à grisou. (*Annales des Mines*, 7^e série ; X, 151).

Principes à consulter dans l'exploitation des mines à grisou. (*Publication de la Commission du grisou*. Dunod, 1881).

POUSSIÈRES ET VARIATIONS BAROMÉTRIQUES

GALLOWAY. — (*Traduction*). Sur les dangers que présentent les poussières de charbons dans l'exploitation des mines de houille. (*Revue Universelle des Mines de Cuyper*, 2^e série ; II, 404). (*Industrie Minérale*, 2^e série ; VII, 191 et IX, 129).

MALLARD et LE CHATELIER (E). — Du rôle des poussières de houille dans les accidents de mines. (*Annales des Mines*, 8^e série ; I, 5).

HILT. — (*Traduction*). Sur les dangers que présentent les poussières de charbon dans l'exploitation des mines de houille. (*Revue Universelle des Mines de Liège*, 2^e série ; XVIII, 409 et 419 et *Industrie Minérale*, 2^e série ; XIV, 133-196 et 589).

HILT. — (*Traduction*). Expériences sur l'inflammation des poussières en présence du grisou. (*Ibid*, XIX, 420).

- VITAL. — Recherches sur l'inflammabilité des poussières de houille. (*Annales des Mines*, 7^e série ; VII, 180).
- SAUVAGE. — Relation entre les explosions du grisou et l'état de l'atmosphère d'après les travaux de MM. Scot et Galloway. (*Annales des Mines*, 7^e série ; XI, 212).
- MURGUE. — De l'influence de la pression barométrique sur le dégagement du grisou. (*Industrie Minérale*, 2^e série ; VI, 445).
- HULT. — (*Traduction*). Influence de la pression atmosphérique sur le dégagement du grisou. (*Industrie Minérale*, 3^e série ; I, 299) et *Revue des Mines de Cuyper*, 2^e série ; XIX, 392).
- KÖHLER. — (*Traduction*). Influence des variations de la pression atmosphérique sur le dégagement du grisou. (*Ibid*, 3^e série ; I, 627), et *Revue des Mines de Cuyper*, 2^e série ; XIX, 175).
- SIMON. — Rôle des poussières charbonneuses dans les explosions de grisou. (*Industrie Minérale*, 2^e série ; I, 311).
- AGUILLOX. — Note sur les expériences du professeur Abel pour étudier le rôle des poussières dans les accidents des Mines. (*Annales des Mines*, 7^e série ; XX, 121).
- DE CHANCOURTOIS. — Etude des mouvements de

l'écorce terrestre au point de vue de leur rapport avec les dégagements de grisou. (*Annales des Mines*, 8^e série ; IX, 207).

CHESNEAU. — De l'influence des mouvements du sol et des variations de la pression atmosphérique sur le dégagement du grisou. (*Annales des Mines*, 8^e série ; XIII, 389).

LE CHATELIER. — Influence des changements de pression atmosphérique sur le dégagement du grisou. (*Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou*, 1^{er} fascicule ; p. 98, Dunod, 1881 .

TABLE DES MATIÈRES

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Nature et production du grisou

| | Pages |
|--------------------------------------|-------|
| Composition. | 5 |
| Analyse | 7 |
| Formation | 14 |
| Gisement. | 16 |
| Rendement | 21 |
| Dégagement normal. | 26 |
| Dégagements brusques. | 32 |
| Influences météorologiques | 40 |
| Accumulation | 42 |

CHAPITRE II

Propriétés du grisou

| | |
|-------------------------------------|----|
| Propriétés physiques | 44 |
| Propriétés chimiques | 45 |
| Combustion du grisou | 46 |
| Température d'inflammation. | 47 |
| Limites d'inflammabilité | 48 |

| | Pages. |
|--|--------|
| Vitesse de propagation de la flamme | 49 |
| Enregistrement des vitesses de combustion. | 51 |
| Influence des parois froides | 55 |
| Propriétés des toiles métalliques | 57 |

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Causes des accidents

| | |
|--|----|
| Généralités | 69 |
| Causes des accidents. | 72 |
| Causes d'accumulation du grisou | 73 |
| Causes d'inflammation | 76 |
| Lampes à feu nu | 78 |
| Tirage à la poudre | 79 |
| Accidents dus aux lampes de sûreté | 80 |
| Causes diverses d'inflammation. | 82 |
| Causes d'aggravation des accidents | 84 |

CHAPITRE II

Précautions contre les accidents

| | |
|---|-----|
| Généralités | 90 |
| Accumulations grisouteuses | 93 |
| Suppression des poussières de houille | 95 |
| Ventilation des mines | 98 |
| Indicateurs de grisou | 160 |

CHAPITRE III

Lampes de sûreté

| | Pages. |
|---|--------|
| Lampes à feu nu | 118 |
| Lampes de sûreté. | 119 |
| Lampe Davy | 121 |
| Lampe Clanny | 124 |
| Lampe Marsaut | 125 |
| Lampe Mueseler | 126 |
| Lampe Fumat | 127 |
| Degré de sécurité des diverses lampes | 129 |
| Pouvoir éclairant. | 133 |
| Lampes électriques de mines. | 135 |

CHAPITRE IV

Explosifs de sûreté

| | |
|--|-----|
| Généralités | 138 |
| Déflagration et détonation des explosifs. | 139 |
| Abaissement de température par la détente | 142 |
| Influence des explosifs sur l'allumage du grisou. | 147 |
| Calcul de la limite inférieure des températures d'explosion | 151 |
| Aptitude à la détonation. | 158 |
| Explosifs de sûreté | 159 |
| Allumage des coups de mine | 165 |
| Calcul théorique de la pression d'une charge ex- plosible | 166 |
| BIBLIOGRAPHIE | 173 |

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY BUSSIÈRE FRÈRES

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Quai des Grands-Augustins, 55.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

LEÇONS DE CHIMIE

(à l'usage des *Élèves de Mathématiques spéciales*)

PAR

Henri GAUTIER

Ancien élève de l'École Polytechnique,
Professeur de l'École Monge et au collège Sainte-Barbe,
Professeur agrégé à l'École de Pharmacie ;

ET

Georges CHARPY

Ancien Élève
de l'École Polytechnique, professeur à l'École Monge.

Un beau volume grand in-8, avec 83 figures ; 1892. . . 9 fr.

Ces *Leçons de Chimie* présentent ceci de particulier qu'elles ne sont pas la reproduction des Ouvrages similaires parus dans ces dernières années. Les théories générales de la Chimie sont beaucoup plus développées que dans la plupart des Livres employés dans l'enseignement ; elles sont mises au courant des idées actuelles, notamment en ce qui concerne la théorie des équilibres chimiques. Toutes ces théories, qui montrent la continuité qui existe entre les phénomènes chimiques, physiques et même mécaniques, sont exposées sous une forme facilement accessible. La question des nombres proportionnels, qui est trop souvent négligée dans les Ouvrages destinés aux candidats aux Ecoles du Gouvernement, est traitée avec tous les développements désirables. Dans tout le cours du Volume, on remarque aussi une grande préoccupation de l'exactitude, les faits cités sont tirés des mémoires originaux ou ont été soumis à une nouvelle vérification. Les procédés de l'industrie chimique sont décrits sous la forme qu'ils possèdent actuellement. L'ouvrage ne comprend que l'étude des métaux, c'est-à-dire les matières exigées pour l'admission aux Ecoles Polytechnique et Centrale.

En résumé, le Livre de MM. Gautier et Charpy est destiné, croyons-nous, à devenir rapidement classique.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

COURS DE PHYSIQUE

DE
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

— PAR M. J. JAMIN

QUATRIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE,

PAR

M. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre Tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET) 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 fig. et 1 planche 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie. Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures. 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches. 4 fr.
3^e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur. 14 fr.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{er} fascicule ; Tome II, 1^{er} et 2^e fascicules ; Tome III, 2^e fascicule.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 fig. et 1 planche 7 fr.
 2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 fig. et 1 planche 6 fr.

TOME IV. — (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Electromagnétisme. Induction*; avec 240 figures. 8 fr.
 4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 fig. et 1 pl. 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs, des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891 60 c.

Tous les trois ans, un supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

Pour ne pas trop grossir un ouvrage déjà bien volumineux, il a fallu dans cette nouvelle édition en soumettre tous les détails à une revision sévère, supprimer ce qui avait quelque peu vieilli, sacrifier la description d'appareils ou d'expériences qui, tout en ayant fait époque, ont été rendus inutiles par des travaux plus parfaits; en un mot, poursuivre dans ses dernières conséquences la transformation entreprise non sans quelque timidité dans l'édition précédente. Au reste, pour tenir un livre au courant d'une Science dont le développement est d'une rapidité si surprenante, et dans laquelle un seul résultat nouveau peut modifier jusqu'aux idées même qui servent de base à l'enseignement, il ne suffit pas d'ajouter des faits à d'autres faits: c'est l'ordre, l'enchaînement, la contexture même de l'ouvrage qu'il faut renouveler. On se ferait donc une idée inexacte de cette quatrième édition du *Cours de Physique de l'École Polytechnique* en se bornant à constater que ces quatre Volumes se sont accrus de près de 500 pages et de 150 figures, soit de un septième environ: les modifications touchent, pour ainsi dire, à chaque page et c'est en réalité au moins le tiers du texte qui a été écrit à nouveau d'une manière complète.

DUHEM. — Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lille. *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme.* 3 volumes grand in-8, avec 215 figures:

Tome I, 1891; 16 fr.—Tome II, 1892; 14 fr.—Tome III, 1892; 15 fr.

JAMIN et BOUTY. — *Cours de Physique à l'usage de la classe de Mathématiques spéciales.* 2^e édition. Deux beaux volumes in-8, contenant ensemble plus de 1060 pages, avec 458 figures géométriques ou ombrées et 6 planches sur acier; 1886 20 fr.

On vend séparément :

TOME I. — Instruments de Mesure. Hydrostatique. — Optique géométrique. Notions sur les phénomènes capillaires. In-8, avec 312 fig. et 4 pl. 10 fr.

TOME II. — Thermométrie. Dilatations. — Calorimétrie. In-8, avec 146 fig. et 2 pl. 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

- BARILLOT (Ernest)**, membre de la Société chimique de Paris. — **Manuel de l'analyse des vins. Dosage des éléments naturels. Recherche analytique des falsifications.** Petit in-8, avec nombreuses figures et Tables; 1889. 3 fr. 50
- BONNAMI (H.)**, Ingénieur-Directeur des usines de Pont-de-Pany et Malain, Conducteur des Ponts et Chaussées. — **Fabrication et contrôle des chaux hydrauliques et ciments. Théorie et pratique. Influences réciproques et simultanées des différentes opérations et de la composition sur la solidification. Energie. Thermodynamique. Thermochimie.** In-8, avec figures; 1888. 6 fr. 50
- BOYS (C.-V.)**, Membre de la Société Royale de Londres, — **Bulles de Savon.** Quatre conférences sur la capillarité faites devant un jeune auditoire. Traduit de l'anglais par CH.-ED. GUILLAUME, Docteur ès-Sciences, avec de nouvelles Notes de l'Auteur et du Traducteur. In-18 jésus, avec 60 figures et 1 planche; 1892 2 fr. 75 c.
- CHAPPUIS (J.)**, Agrégé, Docteur ès Sciences, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **BERGET (A.)**, Docteur ès Sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale. Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme de la Licence ès Sciences physiques.** 3 volumes grand in-8 se vendant séparément :
TOME I : Instruments de mesure. Chaleur. Avec 175 figures; 1891. 13 fr.
TOME II : Electricité et Magnétisme. Avec 305 figures; 1891. . 13 fr.
TOME III : Acoustique. Optique; Electro-optique. Avec 193 figures; 1892 10 fr.
- DESFORGES (J.)**, Professeur de travaux manuels à l'École industrielle de Versailles; ancien Garde d'Artillerie, ancien Chef aux ateliers des Forges et Fonderies de la Marine de l'Etat, à Ruelle. — **Cours pratique d'enseignement manuel**, à l'usage des candidats aux Ecoles nationales d'Arts et Métiers et aux Ecoles d'apprentis et d'Élèves mécaniciens de la flotte, et à l'usage des aspirants au certificat d'aptitude pour l'enseignement du travail manuel, des élèves des écoles professionnelles-industrielles, etc. — **Ajustage. — Forge. — Fonderie. — Chaudronnerie. — Menuiserie.** In-4 oblong, comprenant 76 planches de dessins avec texte explicatif; 1889. . . 5 fr.
- ENDRÈS (E.)**, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées. — **Manuel du Conducteur des Ponts et Chaussées.** Ouvrage indispensable aux Conducteurs et Employés secondaires des Ponts et Chaussées et des Compagnies de Chemin de fer, aux Gardes-mines, aux Gardes et Sous-Officiers de l'Artillerie et du Génie, aux Agents voyers et aux Candidats à ces emplois. *Honoré d'une souscription des Ministères du Commerce et des Travaux publics, et recommandé pour le service vicinal par le Ministre de l'Intérieur*, 7^e édition modifiée conformément au décret du 9 juin 1888. 3 volumes in-8. . . 27 fr.

On vend séparément :

TOME I : Partie théorique, avec 407 fig.; et **tome II : Partie pratique**, avec fig. 2 vol. in-8; 1884 18 fr.

Tome III : Partie technique. In-8, avec 241 fig. 1888 . . . 9 fr.

Le dernier Volume est consacré à l'exposition des doctrines spéciales qui se rattachent à l'Art de l'Ingénieur en général et au service des Ponts et Chaussées en particulier.

- GOULIER (C.-M.)**. Colonel du Génie en retraite. — **Études théoriques et pratiques sur les levés topométriques et en particulier sur la tachéométrie**. Un vol. in-8 de xxii-542 pages, avec fig. et un portrait de l'Auteur, photographé par *Dujardin*; 1892. 8 fr.
- JUPTNER DE JONSTORFF (Baron Hanns)**. — **Traité pratique de Chimie métallurgique**. Traduit de l'allemand par *E. Vlasto*, Ingénieur des Arts et Manufactures. Édition française, revue et augmentée par l'Auteur. Grand in-8, avec nombreuses figures et 2 planches; 1891. 10 fr.
- LACOUTURE (Charles)**. — **Répertoire chromatique. Solution raisonnée et pratique des problèmes les plus usuels dans l'étude et l'emploi des couleurs**. 29 TABLEAUX EN CHROMO représentant 952 teintes différentes et définies, groupées en plus de 600 gammes typiques. In-4, contenant un texte de xi-144 pages, vrai traité de la science pratique des couleurs, accompagné de nombreux diagrammes, et suivi d'un atlas de 29 tableaux en chromo qui offrent à la fois l'illustration du texte et de nouvelles ressources pour les applications; 1890. (*Ouvrage honoré de la MÉDAILLE D'OR de la Société industrielle du Nord de la France*, 18 janvier 1891).
Broché. 25 fr. | Cartonné. 30 fr.
- LÉVY (Maurice)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France et à l'École Centrale des Arts et Manufactures. — **La Statique graphique et ses applications aux constructions**. 2^e édition. 4 vol. grand in-8, avec 4 Atlas de même format. (*Ouvrage honoré d'une souscription du ministère des Travaux publics*).
- I^{re} PARTIE : *Principes et applications de la Statique graphique pure*.
Gr. in-8 de xxviii-549 pages, avec Atlas de 26 pl; 1886. 22 fr.
- II^e PARTIE. — *Flexion plane. Lignes d'influence. Poutres droites*.
Gr. in-8 de xiv-345 pages, avec un Atlas de 6 pl; 1886. 15 fr.
- III^e PARTIE. — *Arcs métalliques. Ponts suspendus rigides. Coupes et corps de révolution*. Grand in-8 de ix-418 pages avec un Atlas de 6 planches; 1887. 17 fr.
- IV^e PARTIE. — *Ouvrages en maçonnerie. Systèmes réticulaires à lignes surabondantes. Index alphabétique des quatre Parties*. Grand in-8 de x-330 pages, avec Atlas de 4 planches; 1888. 15 fr.
- MIQUEL**. — **Manuel pratique d'Analyse bactériologique des eaux**
In-18 jésus, avec figures; 1891. 2 fr. 75 c.
- WITZ (Aimé)**, Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur aux Facultés catholiques de Lille. — **Cours de manipulations de Physique, préparatoire à la Licence (ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE)**. Un beau volume in-8, avec 166 figures 1883. 12 fr.
- WITZ (Aimé)**. — **Exercices de Physique et applications, préparatoires à la Licence (ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE)**. In-8, avec 114 figures; 1889. 42 fr.
- WYROUBOFF (G.)**. — **Manuel pratique de Cristallographie. Détermination des formes cristallines**. In-8, avec figures et 6 planches en taille-douce; 1889. 42 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

BIBLIOTHÈQUE

PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose d'environ 450 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'ouvrages d'une certaine étendue, comme le *traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie Photographique* de M. Fournier, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

EXTRAIT DU CATALOGUE.

Balagny (George), Membre de la Société française de Photographie, Docteur en droit. — *Traité de Photographie par les procédés pelliculaires*. Deux volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890. chaque volume se vend séparément 4 fr.

On vend séparément :

Donnadieu. (A. L.) Docteur ès-sciences. *Traité de Photographie stéréoscopique. Théorie et pratique*. Grand in-8 avec figures et atlas de 20 planches stéréoscopiques et photocollographie; 1892 9 fr.

Chable (E.), Président du Photo-Club de Neuchâtel. — *Les travaux de l'amateur photographe en hiver*. 2^e édition. In-18 Jésus, avec 2 planches et nombreuses figures; 1892 3 fr.

Davanne. — *La Photographie. Traité théorique et pratique*. 2 beaux volumes grand in-8, avec 234 figures et 4 planches spécimens. 32 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches et 120 figures; 1886 16 fr.

II^e PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques, Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie; vocabulaire. Avec 2 planches et 114 figures; 1888 16 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Fabre (C.), Docteur ès Sciences. — *Traité encyclopédique de Photographie*. 4 beaux volumes gr. in-8, avec plus de 700 figures et 2 planches; 1889-1891. 48 fr. »

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Tous les trois ans, un Supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

Le premier Supplément est mis en souscription. Il est publié comme les précédents volumes en cinq fascicules dont le premier a paru le 15 juillet 1892. La souscription sera close le 15 décembre 1892.

Prix du supplément pour les souscripteurs. 10 fr.

Le prix sera porté ultérieurement à 14 fr.

Fourtler (H.). — *Dictionnaire pratique de Chimie photographique*, contenant une *Etude méthodique des divers corps usités en Photographie*, précédé de *Notions usuelles de Chimie* et suivi d'une Description détaillée des *Manipulations photographiques*. Grand in-8, avec figures; 1892 8 fr. »

— *Les Positifs sur verre. Théorie et pratique. Les positifs pour projections. Stéréoscopes et vitraux. Méthodes opératoires. Coloriage et montage*. Grand in-8, avec figures; 1892 4 fr. 50

— *La pratique des projections*. Etude méthodique des appareils. Les accessoires; usages et applications diverses des projections. Conduite des séances. 2 volumes in-18 Jésus se vendant séparément.

I. *Les appareils* avec 66 figures; 1892; 2 fr. 75

II. *Les projections avec figures* ... (Sous presse).

Londe (A.), Chef du service photographique à la Salpêtrière. — *La Photographie instantanée*. 2^e édition. In-18 Jésus, avec belles figures; 1890 2 fr. 75

— *Traité pratique du développement*. Etude raisonnée des divers révélateurs et de leur mode d'emploi. 2^e édition. In-18 Jésus, avec figures et 4 doubles planches en photocollographie; 1892 2 fr. 75

Mercier (P.), Chimiste, Lauréat de l'Ecole supérieure de Pharmacie de Paris. — *Virages et fixages. Traité historique, théorique et pratique*. 2 vol. in-18 Jésus; 1892 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} Partie : *Notice historique. Virages aux sels d'or*. 2 fr. 75

II^e Partie : *Virages aux divers métaux. Fixages*. 2 fr. 75

Trutat (E.), Docteur ès sciences, Directeur du Musée d'Histoire naturelle de Toulouse. — *Traité pratique des agrandissements photographiques*. 2 vol. in-18 Jésus, avec 105 figures; 1891.

I^{re} PARTIE : Obtention des petits clichés; avec 52 figures 2 fr. 75

II^e PARTIE : Agrandissements; avec 53 figures 2 fr. 75

— *Impressions photographiques aux encres grasses. Traité pratique de photocollographie à l'usage des amateurs*. In-18 Jésus, avec nombreuses figures et 1 planche en photocollographie; 1892 2 fr. 75

Vidal (Léon), officier de l'Instruction publique, Professeur à l'Ecole nationale des arts décoratifs. — *Manuel pratique d'Orthochromatisme*. In-18 Jésus avec figures, 2 planches dont une en photocollographie et un spectre en couleur; 1891. 2 fr. 75

Vieuille. — *Nouveau guide pratique du photographe amateur*. 3^e édit refondue et beaucoup augmentée. In-18 Jésus avec fig. 1892. 2 fr. 75

REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES PURES & APPLIQUÉES

Paraissant le 15 et le 30 de chaque mois, par cahiers de 32 pages :
grand in-8° colombier, imprimés à 2 colonnes
avec de nombreuses figures dans le texte.

DIRECTEUR : Louis OLIVIER, DOCTEUR ÈS SCIENCES

Cette *Revue*, à laquelle collaborent 31 membres de l'Académie des Sciences de Paris et les savants les plus illustres de tous pays, a pour objet d'exposer, à mesure qu'ils se produisent et en quelque pays qu'ils s'accroissent, les progrès des SCIENCES POSITIVES et de leurs APPLICATIONS PRATIQUES : *Astronomie, Mécanique, Physique, Chimie, Géologie, Botanique, Zoologie, Anatomie, Physiologie générale et Physiologie humaine, Anthropologie, — Géodésie, Navigation, Génie civil et Génie militaire, Industrie, Agriculture, Hygiène publique, privée et professionnelle, Médecine, Chirurgie.*

Chacun de ses numéros renferme trois parties :

1° La première se compose d'ARTICLES ORIGINAUX, de grandes analyses critiques et de revues spéciales ; le lecteur y trouvera la *synthèse précise des grandes questions à l'ordre du jour* ; celles qui se rapportent à la MÉDECINE sont dans chaque numéro l'objet d'un article spécial.

2° La deuxième partie est consacrée à l'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DÉTAILLÉE des livres et des mémoires importants, récemment parus sur les sciences *mathématiques, physiques, naturelles, médicales* ;

3° La troisième partie renferme le compte rendu des travaux présentés aux Académies et aux principales Sociétés savantes du monde entier.

Tous ceux qui, à des titres divers, s'intéressent au *progrès théorique et pratique des sciences*, trouveront dans cette *Revue* le *tableau complet du mouvement scientifique actuel.*

SPÉCIMEN D'UN NUMÉRO

- I. — H. POINCARÉ, *de l'Institut* : Les Géométries non-Euclidiennes.
- II. — D^{re} MAGNAN et SÉRIEUX : Les Aliénés persécuteurs ; leurs caractères anthropologiques et psychiques ; leur diagnose.
- III. — J. BERGERON, *docteur ès sciences* : La Faune dite « primordiale » a-t-elle été la première ? Découvertes récentes de la paléontologie et de la pétrographie sur ce sujet (avec de nombreuses figures).
- IV. — J. BOUVEAULT, *docteur ès sciences* : La Synthèse des alcaloïdes naturels (avec exemples de préparation).
- V. — *Analyse bibliographique* : 1° Sciences mathématiques ; 2° Sciences physiques ; 3° Sciences naturelles ; 4° Sciences médicales.
- VI. — *Académies et Sociétés savantes de la France et de l'Étranger*

NOTA. — La *Revue* publie, avec chacun de ses numéros, un **Supplément** de huit colonnes renfermant : 1° Les nouvelles de la Science et de l'Enseignement ; 2° les sommaires de 300 périodiques scientifiques classés par ordre de science.

Un Numéro spécimen sera adressé gratuitement à toute personne qui en fera la demande.

PRIX DU NUMÉRO : **80 centimes**

Abonnements : chez Georges CARRÉ, Éditeur

58, rue Saint-André-des-Arts, Paris

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Paris..... | Un an, 18 fr. ; 6 mois, 10 fr. |
| Départements et Alsace-Lorraine..... | — 20 — — 11 — |
| Union postale..... | — 22 — — 12 — |

TRAITÉ
DE PHYSIQUE INDUSTRIELLE
PRODUCTION ET UTILISATION
DE LA CHALEUR

Par **L. SER**

Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

L. CARETTE et E. HERSCHER

Ingénieurs des Arts et Manufactures, Membres de la Société des Ingénieurs civils,
Membres de la Société de médecine et d'hygiène professionnelle.

2 forts volumes in-8° illustrés de 790 figures. 45 fr.

- I. — Principes généraux et appareils considérés d'une manière générale indépendamment de toute application particulière (foyers récepteurs de chaleur, cheminées, ventilateur, thermodynamique). 1 fort volume in-8° avec 362 figures. . . 22 fr. 50*
- II. — Chaudières à vapeur. — Distillation. — Évaporation et séchage. — Désinfection. — Chauffage et ventilation des lieux habités. 1 fort volume in-8° avec 428 figures. 22 fr. 50*

Le **Traité de Physique industrielle** est avant tout le résumé du cours professé à l'École Centrale par le savant et regretté professeur, depuis qu'il occupait la chaire de M. Pécelet.

C'est en même temps un ouvrage absolument pratique, s'adressant non seulement aux élèves, mais aux *Ingénieurs*, aux *Architectes*, aux Membres des Comités d'hygiène, etc.

Le second volume est publié avec la précieuse collaboration de deux hommes bien connus par leur compétence industrielle, et tient compte, par conséquent, de tous les travaux, de toutes les découvertes qui se sont produits depuis l'Exposition de 1889.

Il traite de deux questions très diverses: Les *Chaudières à vapeur* et le *Chauffage et la Ventilation*.

Nous l'avons, pour la facilité des lecteurs, publié en deux fascicules qu'on peut acheter séparément.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

BIBLIOTHÈQUE DIAMANT

DES

SCIENCES MÉDICALES ET BIOLOGIQUES

Collection publiée dans le format in-18 raisin, cartonnée à l'anglaise

- Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, lauréat de l'Institut (Prix Montyon). 6^e édition. 2 vol. 15 fr.
- Manuel du diagnostic médical**, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy et P. HAUSHALTER, chef de clinique médicale. 2^e édition, entièrement refondue . . . 6 fr.
- Manuel d'anatomie microscopique et d'histologie**, par P.-E. LAUNOIS et H. MORAU, préparateurs-adjoints d'histologie à la Faculté de médecine de Paris, préface de M. Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris. 6 fr.
- Sémiologie et diagnostic des maladies nerveuses**, par Paul BLOQ, chef des travaux anatomo-pathologiques à la Salpêtrière, lauréat de l'Institut, et J. ONANOFF. 5 fr.
- Manuel de thérapeutique**, par le D^r BERLIOZ, professeur à la Faculté de médecine de Grenoble, précédé d'une préface de M. BOUCHARD, professeur à la Faculté de médecine de Paris. . . 6 fr.
- Précis de microbiologie médicale et vétérinaire**, par le D^r L.-H. THOINOT, ancien interne des hôpitaux et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire, 2^e éd., 75 fig. noires et en couleurs. 6 fr.
- Précis de médecine judiciaire**, par A. LACASSAGNE, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 2^e édition . . . 7 fr. 50
- Précis d'hygiène privée et sociale**, par A. LACASSAGNE, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 3^e édition revue et augmentée. 7 fr.
- Précis d'anatomie pathologique**, par L. BARD, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon. 7 fr. 50
- Précis théorique et pratique de l'examen de l'œil et de la vision**, par le D^r CHAUVEL, médecin principal de l'armée, professeur à l'École du Val-de-Grâce. 6 fr.
- Le Médecin. Devoirs privés et publics; leurs rapports avec la Jurisprudence et l'organisation médicales**, par A. DECHAMBRE, membre de l'Académie de médecine 6 fr.
- Guide pratique d'Électrothérapie**, rédigé d'après les travaux et les leçons du D^r ONANOFF, lauréat de l'Institut, par M. BONNEFOY. 3^e édition, revue et augmentée d'un chapitre sur *l'électricité statique*, par le D^r DANION 6 fr.
- Paris : sa topographie, son hygiène, ses maladies**, par Léon COLIN, directeur du service de santé du gouvernement militaire de Paris 6 fr.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

DICTIONNAIRE
DES ARTS & MANUFACTURES
ET DE L'AGRICULTURE

FORMANT UN TRAITÉ COMPLET DE TECHNOLOGIE

Par **Ch. LABOULAYE**

Avec la collaboration de Savants, d'Industriels et de Publicistes

SEPTIÈME ÉDITION, PUBLIÉE EN 5 VOLUMES

REVUE ET COMPLÉTÉE A LA SUITE DE L'EXPOSITION DE 1889

Imprimée sur deux colonnes avec plus de 5,000 figures
dans le texte. Prix des 5 volumes : brochés. 120 fr.
reliés. 145 fr.

Le *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est devenu, par son grand et légitime succès, un ouvrage classique parmi les ingénieurs et tous ceux qui s'intéressent aux progrès de l'industrie.

C'est un ouvrage de recherches et d'études que l'on consulte, non seulement pour y trouver des renseignements sur sa propre industrie, mais souvent aussi sur les procédés des industries connexes, et sur les questions générales qui intéressent toute entreprise industrielle. L'Exposition de 1889 a fourni une abondante récolte d'indications précieuses, mises à profit par les collaborateurs de M. Ch. Laboulaye qui continuent son œuvre. Parmi les sujets remaniés ou traités à nouveau dans leur entier, nous citerons : l'électricité (installation d'éclairage, projets de machine, transport de la force, etc.), le verre, le sucre, les constructions métalliques, l'éclairage, la métallurgie, les canaux, le matériel des chemins de fer, les instruments d'agriculture, la statistique graphique, la statistique industrielle et agricole, les institutions de prévoyance (caisses de retraites, assurances, sociétés coopératives, réglementation du travail, syndicats professionnels, etc.). La nouvelle édition du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est tenue au courant des progrès, et nous avons lu avec grand intérêt, parmi les articles nouveaux, ceux qui se rapportent à la statistique et aux institutions de prévoyance. Cette nouvelle édition aura le succès de ses devancières.

(Extrait de *La Nature*.)

~~~~~  
**LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS**

## TRAITÉ DE MÉDECINE

Publié sous la direction de MM. CHARCOT et BOUCHARD, membres de l'Institut et professeurs à la Faculté de médecine de Paris et BRISSAUD, professeur agrégé, par MM. BABINSKI, BALLET, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFRD, COURTOIS-SUFFIT, GILBERT, GUINON, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, OETTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, THIBERGE, L.-H. THOINOT, FERNAND VIDAL. 6 vol. in-8, avec figures (3 volumes publiés au 1<sup>er</sup> mai 1892) *En souscription* . . . . . 112 fr.

## TRAITÉ DE CHIRURGIE

Publié sous la direction de MM. Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, et PAUL RECLUS, professeur agrégé, par MM. BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, GÉRARD-MARCHANT, FORGUE, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NELTON, PEYROT, PONCET, POTHERT, QUENU, RICARD, SEGOND, TUFFIER, WALTHER. 8 forts volumes in-8 avec nombreuses figures (7 volumes publiés au 1<sup>er</sup> mai 1892). *En souscription* . . . . . 140 fr.

## TRAITÉ DE GYNÉCOLOGIE CLINIQUE ET OPÉRATOIRE

Par S. Pozzi, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien de l'hôpital Lourcine-Pascal. 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8, relié toile avec 500 figures dans le texte. 30 fr.

## LEÇONS SUR LA PATHOLOGIE COMPARÉE DE L'INFLAMMATION

Faites à l'Institut Pasteur en avril et mai 1891, par Elie METCHNIKOFF, chef de service à l'Institut Pasteur. 1 vol. in-8 avec 65 figures dans le texte, en noir et en couleur et 8 planches en couleur . . . . . 9 fr.

## LE DIABÈTE PANCRÉATIQUE

*Expérimentation, Clinique, Anatomie pathologique*, par le Dr J. THIROLOIX, interne, médaille d'or des hôpitaux, membre de la Société anatomique. 1 vol. in-8, avec planches et graphiques hors texte . . . . . 8 fr.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS.

VINGTIÈME ANNÉE



37 VOLUMES PARUS

## REVUE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

*Journal hebdomadaire illustré*

RÉDACTEUR EN CHEF : **GASTON TISSANDIER**

Cette revue, si savamment dirigée par M. TISSANDIER, répond à un besoin actuel. Tous ceux qui se préoccupent un peu des progrès scientifiques, des découvertes utiles faites à chaque instant, trouveront dans ses précieuses pages toutes les trouvailles intéressantes, enregistrées au jour le jour. Sans peine, il pourront profiter du travail accumulé dans cette véritable Encyclopédie. Ils n'y rencontreront pas seulement les résultats pratiques auxquels on est arrivé; ils y verront également les tentatives faites par les chercheurs dans telle ou telle voie, le but qu'ils poursuivent, les moyens qu'ils emploient. A ce titre, *La Nature* est doublement utile aux inventeurs. Elle peut les éclairer parfois, souvent leur indiquer des sujets de recherches. En tous cas, ce sera toujours avec profit qu'ils l'auront consultée. Bref, c'est un ouvrage véritablement utile pour beaucoup de gens, intéressant pour tous. Le texte en est toujours rédigé d'une façon brève et concise; les illustrations sont dues à nos meilleurs artistes et gravées avec le plus grand soin.

### PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL :

Paris, 20 fr. — Départements, 25 fr. — Union postale, 26 fr.

Les 37 premiers volumes sont en vente, et sont vendus chacun :

Broché, 40 fr. — Relié, 43 fr. 50.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

# TRAITEMENT DE LA TUBERCULOSE PULMONAIRE

DE LA PLEURÉSIE D'ORIGINE TUBERCULEUSE

ET DES BRONCHITES AIGUES ET CHRONIQUES

par le

## GAIACOL IODOFORME SÉRAFON

Et le Gaïacol-Eucalyptol iodoformé Sérafon

En solutions pour injections hypodermiques

et en capsules pour l'usage interne

PRÉPARATION ET VENTE EN GROS : Société Française de Produits Pharmaceutiques, 9 et 11 rue de la Perle, Paris.

### ALIMENTATION

DES

### MALADES

PAR LES

### POUDRES

DE

*Viande*

### ADRIAN

La **POUDRE de BIFTECK ADRIAN** (garantie pure viande de bœuf français) est aussi inodore et insipide qu'il est possible de l'obtenir en lui conservant les principes nutritifs de la viande. C'est exactement de la chair musculaire privée de son eau, gardant sous un volume très réduit et sous un poids quatre fois moindre, toutes ses propriétés nutritives, et chose importante, n'ayant rien perdu des principes nécessaires à l'assimilation de l'aliment.

*Se vend en flacons de 250, 500 gr.  
et 1 kil.*

La **POUDRE DE VIANDE ADRIAN**, d'un prix moins élevé que la poudre de bifteck, ce qui en permet l'emploi aux malades peu fortunés est garantie pure viande de bœuf d'Amérique.

*boîtes de 250, 500 gr. et 1 kil.*

LA

## QUASSINE ADRIAN

essentiellement différente de toutes celles du commerce, est la SEULE dont les effets réguliers aient été constatés. Elle excite l'APPÉTIT, développe les FORCES, combat efficacement les DYSPÉPSIES ATONIQUES, les COLIQUES HÉPATIQUES et NÉPHRÉTIQUES. (Bulletin général de thérapeutique, 15 novembre 1882).

**Dragées** contenant 25 milligrammes de Quassine amorphe.

**Granules** — 2 — Quassine cristallisée.

## ANÉMIE

Dans les cas de CHLOROSE et d'ANÉMIE rebelles aux moyens thérapeutiques ordinaires les préparations à base

## CHLOROSE

## D'HÉMOGLOBINE SOLUBLE

DE V. DESCHIENS

Épuisement

ont donné les résultats les plus satisfaisants. Elles ne constipent pas, ne noircissent pas les dents et n'occasionnent jamais de maux d'estomac comme la plupart des autres ferrugineux.

Affaiblissement

Se vend sous la forme de

**SIROP, VIN, DRAGÉES  
ET ÉLIXIR**

général

préparés par ADRIAN et Cie, 9 rue de la Perle, Paris.

## CAPSULES DE TERPINOL ADRIAN

Le TERPINOL a les propriétés de l'essence de Térébenthine dont il dérive, mais il est plus facilement absorbé et surtout *très bien toléré*, ce qui le rend préférable.

Il n'offre pas, comme l'essence de Térébenthine, l'inconvénient grave qu'il provoque chez les malades des nausées, souvent même des vomissements.

Le TERPINOL est un diurétique et un puissant modificateur des sécrétions catarrhales (bronches, reins, vessie).

Le TERPINOL ADRIAN s'emploie en capsules de 40 centigrammes (5 à 10 par jour).

## TRAITEMENT de la SYPHILIS par les PILULES DARDENNE

POLY-IODURÉES SOLUBLES

SOLUBLES dans tous les liquides servant de boisson (Eau, lait, café, vin, bière, etc.) elles peuvent être prises en pilules ou transformées par les malades, en solutions ou en sirops, au moment d'en faire usage.

**Premier type** (type faible)

(Syphilis ordinaire 1<sup>re</sup> et 3<sup>e</sup> année)

2 pilules par jour correspondent à une cuillerée à soupe de Sirop de Gibert.

**Quatrième type** (type fort)

(accidents tertiaires, viscéraux et cutanés)

8 pilules par jour correspondent à un centig. 51-iodure de mercure et à 4 grammes iodure de potassium.

Vente en Gros : Société Française de Produits Pharmaceutiques, 9 et 11 rue de la Perle, PARIS.



# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

## Section du Biologiste

| MM.               | MM.                          | MM.             |
|-------------------|------------------------------|-----------------|
| Arloing (S.).     | Filhol (H.).                 | Martin (A.-J.). |
| Auvaré.           | François-Franck (Ch.)        | Maygrier.       |
| Ballet (Gilbert). | Gamaleia.                    | Merklen.        |
| Bar.              | Gariel.                      | Meyer.          |
| Barthélemy.       | Gérard-Marchant.             | Napias.         |
| Baudouin.         | Gilbert.                     | Nocard.         |
| Bazy.             | Girard (Aimé).               | Olivier (Ad.).  |
| Beauregard (H.).  | Girard (A.-Ch.) <sup>4</sup> | Olivier (L.).   |
| Bergé.            | Gley.                        | Ollier.         |
| Bergonié.         | Gombault.                    | Patouillard.    |
| Berne (G.).       | Grancher.                    | Peraire.        |
| Berthaut.         | Guerne (J. de).              | Perrier (Edm.). |
| Blanc (Louis).    | Hanot.                       | Peyrot.         |
| Blanchard (R.)    | Hartmann (H.).               | Polin.          |
| Bonnaire.         | Hébert (A.).                 | Pouchet (G.).   |
| Brault.           | Henneguy.                    | Pozzi.          |
| Brissaud.         | Hénocque.                    | Prillieux.      |
| Broca.            | Heydenreich.                 | Quénu.          |
| Brocq.            | Jacquet.                     | Reclus.         |
| Brun.             | Joffroy.                     | Retterer.       |
| Brun (de).        | Johannès-Chatin.             | Roger (H.).     |
| Budin.            | Kœhler.                      | Ruault.         |
| Castex.           | Labit.                       | Séglas.         |
| Cazal (du).       | Landouzy.                    | Segond.         |
| Chantemesse.      | Langlois (P.).               | Sérieux.        |
| Charrin.          | Lannelongue.                 | Spillmann.      |
| Cornevin.         | Lapersonne (de).             | Straus.         |
| Crouzat.          | Lavarenne (de).              | Talamon.        |
| Cuénot (L.).      | Laveran.                     | Testut (Léo).   |
| Dastre.           | Lavergne.                    | Tissier.        |
| Dehérain.         | Layet.                       | Thoulet (J.).   |
| Delorme.          | Le Dentu.                    | Trousseau.      |
| Demelin.          | Legrain.                     | Vallon.         |
| Dubois (Raphaël). | Legroux.                     | Viala.          |
| Durand-Fardel.    | Lermoyez (M.).               | Viault.         |
| Duval (Mathias).  | Letulle.                     | Weill (J.).     |
| Faisans.          | Lhôte.                       | Weiss (G.).     |
| Féré.             | Magnan.                      | Wurtz.          |
| Fernbach (A.).    | Marfan.                      |                 |
| Foulard.          | Marie (A.).                  |                 |

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES A

DIRIGÉE PAR M LÉAUTÉ, MÈRE DE

Collection de 300 volumes en 8 (30 à 40 volumes)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ 2 FR.

Objets et cours de publication

| Section de l'ouvrage                                                   | Section                                                            |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| A. GOUILLY.— Transmissions par air comprimé ou par air liquide         | FAISANS.— Maladies parasitaires. Signes et symptômes               |
| R.-V. PICOU.— Distribution par installations                           | MAGNAN.— Signes et symptômes                                       |
| DUQUESNAY.— Résistances                                                | AUVARD.— Séméiologie                                               |
| DWELSHAUVERS-DERY.— Méthode calorimétrique à vapeur.                   | G. WEISS.— Séméiologie                                             |
| A. MADAMET.— Tiroirs de vapeur. — Appareils de marche et de changement | BAZY.— Maladies de l'urètre. Vessies                               |
| MAGNIER DE LA SOURCE.— Vins.                                           | VUZZI.— Technique                                                  |
| ALHEILIG.— Recette de travail des bois, outils.                        | T. OUSSEAU.— Hygiène                                               |
| R.-V. PICOU.— Distribution par usines                                  | PIÉRE.— Epiphyse                                                   |
| AIMÉ WITZ.— Thermisme de l'usage des ingénieurs                        | I. VERAN.— Pandémie                                                |
| LINDET.— La bière.                                                     | OLIVET et LABT.— Examens                                           |
| LE CHATELIER.— Le coton                                                | M. GENIN.— Les acariens parasites                                  |
| TH. SCHLÖSSING fils.— Coton                                            | BRIGNONÉ.— Physique médicale                                       |
| SAUVAGE.— Les divers types à vapeur.                                   | DÉJARDIN.— Anatomie obstétricale                                   |
| H. GAUTIER.— Essais de hasard.                                         | CHENOY.— Les moyens de défense dans la série animale               |
| CRONEAU.— Canons. Torpilles.                                           | DE LAPERSONNE.— Maladies des plaies et des membranes de l'œil      |
| GÉRARD-LAVERGNE.— Industrie des textiles                               | BURN.— Thérapeutique obstétricale                                  |
| LECOMTE.— Les textiles. Examen microscopique                           | KOHLER.— Application de la photographie aux sciences naturelles    |
| DE LAUNAY.— Formes métallifères.                                       | LESTUEN.— Maladies aiguës de la cavité                             |
| DUDEBOUT.— Appareils moteurs à vapeur.                                 | DE BRUN.— Maladies des pays chauds                                 |
| FERDINAND JEAN.— Les peaux et des cuirs.                               | BAZY.— Étude des troubles fonctionnels des voies urinaires         |
| LAUREN NAUDIN.— Publication des vernis.                                | FAISANS.— Diagnostic précoce de la tuberculose                     |
| HÉBERT.— Examen sommaire des bois-sous falsifiés.                      | DASTRE.— La Digestion                                              |
| GURNEZ.— La décoration de la porcelaine au feu de moufle               | AIMÉ GIRARD.— La betterave à sucre                                 |
| H. LÉAUTÉ et A. BÉRARD.— Transmissions par câbles métalliques.         | BROCCO et JACQUET.— Traité élémentaire et pratique de dermatologie |
|                                                                        | LANNELONGUE.— La Tuberculose chirurgicale                          |
|                                                                        | STRAUS.— Les bactéries                                             |
|                                                                        | N. P. AS.— Hygiène industrielle et professionnelle                 |
|                                                                        | GOMHAULT.— Pathologie du bupresticide                              |
|                                                                        | LEGROUX.— Pathologie générale intestinale                          |