

# RAPPORT

*adressé à M. le Ministre de l'Intérieur*

SUR LES

## CAUSES DE MORT DANS LES EXPLOSIONS DE MINES

ET

## LES INCENDIES SOUTERRAINS

CONCERNANT SPÉCIALEMENT LES EXPLOSIONS DE

TYLORSTOWN, BRANCEPETH & MICKLEFIELD

PAR

M. le D<sup>r</sup> JOHN HALDANE,

Professeur de Physiologie à l'Université d'Oxford

TRADUIT ET COMMENTÉ

PAR

J. DANIEL,

Ingénieur des Arts et Manufactures,

Docteur spécial en exploitation des Mines

Ancien Directeur de la C<sup>ie</sup> des Explosifs sécurité.

[62281]

*(Suite. Voir les précédentes livraisons.)*

---

*Action sur les hommes et sur les lampes des gaz  
qui constituent l'after-damp.*

### I. ACIDE CARBONIQUE.

Ce gaz, s'il se trouve en grand excès. doit être considéré comme réellement toxique et n'agit pas, ainsi qu'on l'a dit souvent, en diluant simplement l'oxygène de l'air. Celui-ci, mélangé à 50 % CO<sup>2</sup>, cause rapidement la mort, tandis qu'avec la même quantité d'azote, les troubles sont insignifiants. Ainsi que nous l'avons montré ci-dessus, il ne peut y avoir plus qu'environ 12 % CO<sup>2</sup> dans l'*after-damp* et en fait, cette proportion est bien rarement atteinte.

Si on se trouve dans une atmosphère contenant des proportions croissantes d'acide carbonique, les premiers effets sont nettement ressentis vers 3 à 4 % : les inspirations deviennent un peu plus profondes, mais sans qu'apparaisse aucun trouble. Des animaux, maintenus dans une telle atmosphère pendant plusieurs semaines, ne présentèrent rien d'anormal <sup>(1)</sup>. A mesure que la teneur augmente, les inspirations deviennent plus fréquentes et plus profondes. Vers 6 %, l'oppression apparaît nettement ; au même moment, on ressent parfois une légère céphalalgie frontale, laquelle augmente en général pendant quelques instants lorsqu'on est ramené à l'air libre. Vers 7 à 8 %, l'oppression devient très douloureuse, surtout au début et la gêne respiratoire est extrême à 10 %. Si la teneur augmente encore quelque peu, l'anesthésie semble survenir et le sujet perd connaissance sans que toutefois, la vie puisse être mise en danger, à en juger d'après les expériences faites sur les animaux.

L'action sur les lampes, chandelles, etc., de l'air contenant de l'acide carbonique semble varier assez régulièrement avec la diminution de la quantité d'oxygène. D'après le professeur Clowes, une atmosphère contenant environ 15 %  $\text{CO}_2$  provoque l'extinction <sup>(2)</sup>. L'air dilué avec 17 % Az produit le même résultat. L'auteur a constaté qu'une chandelle brûle dans un mélange contenant 75 %  $\text{CO}_2$ , s'il s'y trouve en même temps 25 % O. En somme, contrairement à ce que l'on a souvent affirmé, l'acide carbonique n'exerce qu'une action propre fort peu prononcée quant à l'extinction des flammes.

## II. AZOTE.

### (Manque d'oxygène.)

L'azote — y compris l'argon — n'exerce aucune action spéciale sur l'homme ou sur les animaux. Ajouté à l'air, il agit indirectement en diminuant la teneur d'oxygène. Les autres gaz physiologiquement inertes exercent la même action. Si la quantité d'oxygène se trouve diminuée par suite d'absorption de ce gaz ou, ce qui revient exactement au même, par addition d'azote, les troubles que l'on ressent

---

(1) L'auteur a publié, en collaboration avec le Dr Lorrain Smith, dans le *Journal of Pathology and Bacteriology* (vol. I, p. 168, 1892) le compte-rendu d'expériences concernant l'action de l'acide carbonique et du manque d'oxygène sur les hommes, les animaux, ainsi que les flammes.

(2) *Transactions, Federated Institution of Mining Engineers*, vol. VII, p. 420.

avant de se trouver dans l'impossibilité de se mouvoir sont fort peu prononcés.

Si la diminution de l'oxygène est graduelle et les symptômes observés avec soin, on remarque, lorsque la proportion tombe à 12 ‰, que les inspirations deviennent un peu plus profondes. A 10 ‰, elles augmentent sensiblement en fréquence et en profondeur; les lèvres deviennent légèrement cyanosées. A 8 ‰, la face prend une teinte blême, bien que la gêne ne soit pas encore considérable. Vers 5 à 6 ‰, oppression prononcée, accompagnée d'évanouissement; enfin, après une période plus ou moins longue, la mort.

Si l'on respire de l'air contenant moins de 1 à 2 ‰ O, la perte de connaissance survient au bout de 40 à 50 secondes, sans troubles préalables. Elle est plus rapide que dans le cas de submersion ou de strangulation, car non seulement l'oxygène n'est plus fourni à la victime, mais encore se trouve instantanément chassé des poumons. L'évanouissement est bientôt suivi de convulsions; puis, la respiration cesse. S'il s'agit de chats ou de chiens, le cœur continue à battre pendant une période variant de 2 à 8 minutes; elle est plus longue probablement chez l'homme, car il semble être de règle générale qu'un animal résiste d'autant plus longtemps à l'asphyxie qu'il est de taille plus élevée. L'auteur a respiré pendant une demi-minute, sans perdre connaissance, une atmosphère contenant 0,7 ‰ O et qui avait produit au bout de 15 secondes, chez une souris, non seulement la perte de connaissance, mais encore des convulsions suivies de la cessation presque complète des mouvements respiratoires.

Tant que le cœur bat, fût-ce même faiblement, le sujet peut être ranimé par la respiration artificielle. Parfois, il est nécessaire de prolonger celle-ci pendant une période considérable, car les troubles pouvant être graves, la réintégration des centres respiratoires demande parfois un certain temps. Après le rétablissement de la respiration, il arrive que le malade ne reprenne connaissance qu'au bout de quelques heures et à défaut d'un traitement des plus rigoureux, on risque de voir survenir la mort.

Nous pensons que tout effort brusque au sein d'une atmosphère dont la quantité d'oxygène a subi une diminution marquée, peut provoquer la perte de connaissance. Si donc cette diminution est accusée par les lampes ou les chandelles, il faudra s'abstenir de tout effort.

Les flammes ne peuvent subsister lorsque la teneur d'oxygène

tombe à 17,6 ou 17,1 %<sup>(1)</sup>; la première de ces limites se rapporte au cas d'une chandelle tenue verticalement, tandis que si elle est horizontale et si on attise la mèche, l'extinction ne surviendra qu'à 17,1 %.

### III. BLACK-DAMP.

Le *black-damp* est constitué d'un mélange en proportions variables, dont la composition moyenne répond à 87 % Az et 13 % CO<sup>2</sup>. L'action exercée sur les hommes et sur les lampes dépendra évidemment de la diminution d'oxygène due à sa présence. Un calcul fort simple montre d'ailleurs que l'acide carbonique, en produisant une oppression très nette, donne un précieux avertissement quant au danger dont on est menacé<sup>(1)</sup>. Il ne faut pas perdre de vue que la présence de l'acide carbonique provoque l'oppression beaucoup plus rapidement que le manque d'oxygène correspondant; en outre, le malaise se manifeste bien avant que le danger devienne sérieux, tandis que dans le second cas, on ne le ressent qu'au moment même où il est imminent. En somme, la présence de l'acide carbonique tend à diminuer sensiblement le danger.

On peut conclure de ce qui précède qu'une atmosphère ne renfermant pas au delà de la quantité d'azote ou de *black-damp* propre à empêcher la combustion ne présente point encore de danger. En cas de nécessité, on peut même pénétrer dans un milieu contenant une quantité de *black-damp* quatre fois plus élevée.

La flamme d'une lampe de Clowes à l'hydrogène, mise au point pour l'essai du grisou, s'éteint dans une atmosphère renfermant environ 10 % O ou 52 % *black-damp*, et plus rapidement s'il s'y trouve en outre du grisou.

### IV. GRISOU.

L'action physiologique de ce gaz est exactement la même que celle de l'azote, c'est-à-dire qu'il agit simplement en diluant l'oxy-

---

(1) Des expériences très précises ont été faites par M. W. N. Atkinson et l'auteur au charbonnage de Lilleshall (*Transactions, Federated Institutions of Mining Engineers*, vol. VIII, 1895, p. 558); depuis lors, l'auteur a vérifié à différentes reprises les résultats obtenus. D'intéressantes observations sur le même sujet ont été publiées par le prof. Clowes (*Proceedings, Royal Society*, vol. LVI, 1894, p. 4).

(2) Des expériences directes ont été publiées par l'auteur dans les *Proceedings of the Royal Society*, vol. LVII, p. 249.

gène de l'air <sup>(1)</sup>. Il s'ensuit qu'une atmosphère contenant 50 à 60 % de grisou peut être respirée impunément pendant un certain temps, alors qu'à 5 % déjà se produit l'extinction de la lampe de sûreté. Toutefois, il importe de ne pénétrer qu'avec prudence dans une atmosphère contenant une forte proportion de ce gaz, par exemple s'il s'agit de remonter une galerie inclinée à l'effet de rétablir la ventilation dans des travaux infestés de grisou. Le danger provient de ce que la teneur grisouteuse pouvant augmenter très rapidement, on risque de se trouver tout à coup au sein d'une atmosphère trop pauvre en oxygène pour pouvoir entretenir la vie. Pour prévenir ce danger, il conviendra de marcher très lentement et de se faire suivre d'un homme.

Il arrive parfois que des traces d'hydrogène sulfuré se trouvent mélangées au grisou. Ce gaz, que l'on reconnaît à son odeur caractéristique, est extrêmement toxique : une teneur de 0,1 % suffit pour causer rapidement la perte de connaissance, puis la mort. Une vive irritation des yeux, la difficulté de la respiration sont les symptômes d'un danger imminent :

#### V. OXYDE DE CARBONE.

Ce gaz se rencontre dans l'*after-damp*, la fumée, ainsi que le *gob-stink* <sup>(2)</sup>. Il diffère des autres gaz toxiques en ce que son action est particulièrement lente et insidieuse. Quelques explications permettront d'en comprendre la marche.

Lorsque l'homme respire, l'oxygène de l'air est absorbé par le sang, dans les poumons, sous forme de combinaison peu stable avec l'hémoglobine, — qui constitue le principe colorant du sang —

<sup>(1)</sup> *Transactions, Federated Institution of Mining Engineers*, vol. VIII, p. 556.

On peut se demander s'il est exact que l'innocuité du grisou soit absolument entière : d'après les recherches faites par M. F. Lussem pour la Commission prussienne, la présence d'une forte proportion de grisou dans l'atmosphère provoque chez les animaux un sommeil bien caractérisé — quoique fugitif — et chez l'homme un étourdissement qui se dissipe bien vite à l'air frais.

A notre connaissance personnelle, ce trouble passager est loin d'être rare chez les mineurs, les abatteurs surtout, dans les chantiers où le grisou se dégage avec abondance.

(Note du traducteur.)

<sup>(2)</sup> Sous le nom de *gob*, on désigne les travaux abandonnés, tandis que le mot *stink* rappelle l'impression peu agréable que causent à l'odorat les produits qui s'en dégagent. Certains d'entre eux, dus à l'échauffement lent de la houille, contiennent de l'oxyde de carbone.

(Note du traducteur.)

— et transporté, par la circulation, jusqu'à l'endroit où il se trouve utilisé, c'est-à-dire jusqu'aux tissus. L'hémoglobine, en dehors de son affinité pour l'oxygène, en possède une autre, bien plus prononcée, pour l'oxyde de carbone et, ainsi que l'ont démontré les travaux de Claude Bernard, l'hémoglobine saturée d'oxyde de carbone ne se combine plus avec l'oxygène. Donc si le sang d'un animal vivant est saturé d'oxyde de carbone, l'hémoglobine deviendra inapte à transporter l'oxygène des poumons vers les tissus et la mort se produira par manque d'oxygène. Telle est la seule action que l'oxyde de carbone exerce sur l'organisme : à part la propriété de se combiner avec l'hémoglobine, c'est un gaz physiologiquement inerte, de même que l'azote<sup>(1)</sup>. Les troubles qu'il cause ne diffèrent pas essentiellement de ceux que provoque l'absence complète ou partielle de l'oxygène.

La raison d'être de l'action si insidieuse de l'oxyde de carbone provient de ce que l'affinité de ce gaz pour l'hémoglobine étant des plus puissantes, il suffit qu'il s'en trouve dans l'air une quantité des plus restreintes pour que l'absorption se produise — lentement, mais sûrement — jusqu'à ce que, enfin, l'hémoglobine se trouve saturée. D'autre part, ainsi que nous l'avons fait remarquer déjà, les troubles dus au manque d'oxygène sont fort peu marqués jusqu'au moment où la victime perdant la faculté de se mouvoir, se trouve emprisonnée au sein de l'atmosphère toxique. C'est lorsque le degré de saturation du sang par l'oxyde de carbone est d'environ 50 % que l'impuissance se manifeste.

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxyde de carbone est d'environ 250 fois plus considérable que pour l'oxygène. En d'autres termes, du sang qui se trouverait placé dans une atmosphère contenant environ 0,1 % de CO serait finalement saturé à peu près à égalité d'oxyde de carbone et d'oxygène. Si on l'exposait ensuite à de l'air pur et renouvelé constamment, l'oxyde de carbone s'éliminerait peu à peu. La durée de l'élimination est d'environ cinq fois moins élevée dans l'oxygène pur que dans l'air.

Examinons les symptômes de l'empoisonnement progressif par l'oxyde de carbone et de la guérison, sous l'action de l'air pur. Si la quantité de gaz est inférieure à 0,1 %, le sang ne peut se saturer qu'à concurrence de 50 % et il n'existe aucun danger. Avec 0,2 %,

---

<sup>(1)</sup> Ce fait, ainsi que plusieurs autres qui suivent, a été démontré par l'auteur au cours d'expériences dont il a publié le compte-rendu dans le *Journal of Physiology*, vol. XVIII (1895), pp. 200, 450 et 465.

le degré de saturation atteindra environ 67 % et l'homme perdra connaissance au bout d'un certain temps; puis, la mort. Elle sera fatale si la teneur atteint 0,3 %.

Il est d'un grand intérêt pratique de connaître les délais qui précèdent la manifestation des symptômes de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. Pour les calculer plus ou moins approximativement, on peut se baser sur ce que la quantité d'oxyde de carbone ou d'oxygène dont peut se charger à saturation le sang d'un adulte est en moyenne de 2 *pints*, ou 1,1 litre. D'autre part, un homme au repos absorbe par la respiration une moyenne de 10 à 12 *pints* d'air par minute (5<sup>l</sup>,5 à 6<sup>l</sup>,6) et il a été démontré expérimentalement que 60 % de l'oxyde de carbone inhalé sont absorbés effectivement. Cela étant, si nous supposons une atmosphère contenant 0,1 % CO, la quantité de ce gaz absorbée par minute sera d'environ 7/1000 *pint* (0,00388<sup>l</sup>). Il faudra donc 2 1/4 heures pour absorber 1 *pint*, ce qui correspond à la demi-saturation. Si l'homme est en mouvement, il lui faut environ trois fois plus d'air qu'au repos. On pourra admettre qu'il absorbe en moyenne 1 *pint* (0<sup>l</sup>,55) par heure. Si la teneur d'oxyde de carbone est de 0,2 %, les délais sont moitié moindres; ils descendent au 1/3 si la teneur atteint 0,3 %, et ainsi de suite. Leur durée sera réduite si l'homme sort d'une atmosphère nocive et n'est pas encore complètement remis. Il sera donc prudent, si l'on est obligé de séjourner dans de l'air contenant de l'oxyde de carbone, de tenir des hommes en réserve, autant que possible, dans une atmosphère pure. C'est par l'observation de cette mesure que, lors de la catastrophe de Tylorstown, M. Thomas et les hommes qu'il dirigeait purent avoir la vie sauve (voir p. 130).

Le danger de s'avancer dans les galeries contenant de l'*after-damp*, de la fumée, du *gobstink*, etc., est des plus graves, car il pourra arriver que l'on ait parcouru une certaine distance avant de ressentir les effets de l'oxyde de carbone et lorsqu'on les ressent, on se trouve dans l'impossibilité de se mouvoir.

L'état de complète impuissance est précédé de symptômes qu'il importe de signaler : vertige, fatigue dans les jambes, affaiblissement de la vue, palpitations à la suite du moindre effort. Ces symptômes deviennent très apparents lorsque le degré de saturation du sang atteint 25 à 30 % et augmentent graduellement avec celui-ci : vers 50 %, les jambes deviennent si faibles qu'elles se refusent à tout service.

Aucune sensation bien douloureuse n'accompagne ces symptômes ;

après la paralysie des jambes, les sens s'affaiblissent graduellement, comme sous l'action d'un anesthésique lent. Si la teneur d'oxyde de carbone est élevée — supérieure à 2 % —, la perte de connaissance est suivie de convulsions, etc., de même que dans le cas de suffocation par manque brusque d'oxygène. S'il y a moins de 1 %, la mort arrive avec la plus grande tranquillité. Cela est confirmé, d'ailleurs, par l'attitude dans laquelle on retrouve les victimes.

Les hommes qui ont perdu connaissance temporairement sous l'action de l'oxyde de carbone — ou, ce qui est la même chose, du manque d'oxygène — ressentent pendant plusieurs jours et même plusieurs semaines des troubles qui peuvent être des plus graves. A cet égard, on consultera avec intérêt le rapport du Dr Shaw Lytle relatif à l'explosion survenue au charbonnage d'Albion en 1894 (voir l'appendice B).

Lorsque l'évanouissement n'a duré que peu de temps, le malade est généralement rétabli au bout de quelques heures. La guérison est accompagnée de violents maux de tête et souvent de nausées et vomissements. Ces troubles sont d'autant plus prononcés que le séjour a été plus long au sein de l'atmosphère nocive. L'auteur a constaté par lui-même que quelques heures passées dans un milieu ne contenant que 0.07 % CO suffisent pour provoquer non seulement le vertige, etc., au moindre effort, mais encore des maux de tête qui se prolongent douze heures durant.

Il a déduit également d'expériences dont il fut le propre sujet que six heures environ sont nécessaires pour l'élimination complète de l'oxyde de carbone, en cas d'intoxication prononcée. A Tylorstown, il examina le sang d'un ouvrier retrouvé encore vivant parmi les cadavres de sept de ses compagnons. Cet examen eut lieu vingt-quatre heures après le moment où il avait été retiré de la mine, lorsqu'il commençait seulement à recouvrer l'usage de ses sens. Le spectroscope ne décéla point l'oxyde de carbone. Il est probable qu'après une exposition d'une heure ou deux à l'air frais, la quantité d'oxyde de carbone éliminée aura été telle que l'apport normal d'oxygène aux tissus se sera rétabli. Souvent, on attribue à tort les troubles causés par une intoxication antérieure à la présence de l'oxyde de carbone au moment où ils se manifestent.

Si l'action du gaz toxique a été prononcée, le rétablissement devient problématique. En tout état de cause, il est lent et accompagné de troubles qui indiquent combien le système nerveux a été éprouvé durant la période de privation d'oxygène. Le manque de



connaissance persiste longtemps. La respiration est irrégulière. Le pouls parfois imperceptible. La température s'élève à 103° F. (39° 4) et même davantage. Généralement, il se produit une augmentation notable de la sensibilité des réflexes du tronc et des membres; toute tentative faite pour mouvoir les bras, les jambes ou le corps provoque de vives contractions des muscles et même des attaques épileptiformes. Celles-ci se produisent même spontanément. Ces symptômes ressemblent beaucoup à ceux de l'empoisonnement par la strychnine. L'accroissement de la sensibilité des réflexes fut constaté par le Dr Morris dans le cas que nous venons de signaler (Tylorstown). Böhm a observé des phénomènes analogues chez des animaux que l'on avait partiellement asphyxiés par l'hydrogène ou bien par occlusion de la trachée (1). L'auteur les signale également dans un cas d'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré (2). Ainsi donc, ces symptômes sont communs à plusieurs modes d'intoxication.

Lorsque le rétablissement s'est opéré, la lucidité de l'esprit reparaît et les membres se raffermissent. Parfois, certaines parties du corps restent paralysées pendant quelque temps. Au début, on constate une grande difficulté dans la compréhension des questions adressées au malade, ainsi que dans tous les mouvements qu'il exécute. Il arrive parfois qu'il ait perdu le souvenir de tout ce qui touche l'explosion et ce n'est qu'au bout de plusieurs jours et même de plusieurs semaines qu'il retrouve la plénitude de ses facultés.

En ce qui concerne le traitement de l'intoxication par l'oxyde de carbone ou par l'*after-damp*, il ne sera pas sans intérêt de présenter quelques observations sommaires. Il est clair qu'avant tout, l'oxygène sera nécessaire pour éliminer rapidement l'oxyde de carbone du sang (3). Dans la mine, toutefois, on ne peut s'en procurer qu'au moyen d'appareils de secours spéciaux. Si l'atmosphère est encore impure au moment où l'on retrouve l'homme, il faudra tout d'abord le transporter dans un milieu parfaitement sain. Ensuite, employer la respiration artificielle jusqu'à ce qu'on ait régularisé quelque peu les fonctions respiratoires. Si le pouls est faible, administrer des cordiaux. M. le Dr Morris a obtenu de très bons résultats à l'aide d'injections hypodermiques d'éther.

Les premiers effets de l'air pur et frais semblent être de nature à

---

(1) *Archiv. für experimentale Pathologie*, vol. VIII, p. 68.

(2) *Empoisonnement par des gaz d'égout*; *Lancet*, 29 janvier 1896, p. 220.

(3) *Journal of Physiology*, vol. XVIII, 1895, pp. 201 et 457.

présenter quelque danger. Lors de l'explosion survenue au charbonnage d'Albion, on constata que plusieurs des ouvriers retirés du fond perdaient connaissance en arrivant au jour. M. Chrystle, Directeur du charbonnage d'Oldfield, North Staffordshire, nous a rapporté qu'en combattant un incendie qui s'était déclaré dans de vieux travaux, il remarqua que les hommes indisposés par les gaz dégagés se sentaient plus mal lorsqu'ils allaient se reposer dans une galerie d'aérage voisine. Les symptômes qu'il décrit sont bien ceux de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. Lui-même tomba sans connaissance dans la galerie d'aérage, dont la température était d'environ 8° inférieure à celle de l'endroit où travaillaient les sauveteurs.

On n'a pu expliquer d'une manière satisfaisante jusqu'ici, les effets défavorables de l'air pur et frais. Il est possible que l'abaissement de température diminue quelque peu l'apport de sang au cerveau, ou bien que la température du corps se trouve réduite par suite de l'altération des fonctions productrices ou régulatrices de la chaleur animale. Dans le cas d'animaux de petite taille empoisonnés par l'oxyde de carbone, la production de chaleur diminue notablement et le rétablissement à l'air pur est accéléré de beaucoup si l'on réchauffe l'animal. Nous pensons qu'en général, dans le traitement immédiat de l'intoxication par l'oxyde de carbone, l'application de la chaleur artificielle rendra de grands services. M. le D<sup>r</sup> Morris a employé avec succès des cruchons d'eau chaude et des couvertures.

Le traitement à domicile est souvent fort difficile : il est essentiel que l'on soit à même de combattre toute élévation ou abaissement de température dès qu'elle se produit. Il importe également d'assurer le repos du malade pour augmenter les chances de rétablissement du système nerveux. Toute brûlure ou blessure doit être soignée avec grande attention et il faut veiller à ce que la situation du malade soit calme et confortable. Nous pensons que bien des ouvriers, parmi ceux que l'on retira vivants à la suite d'explosions, moururent ensuite faute des soins nécessaires, et c'est un point sur lequel il importe d'attirer tout particulièrement l'attention.

La recherche de l'oxyde de carbone dans l'atmosphère d'une mine présente un intérêt direct, car il est hors de doute que plus d'un malheureux, se basant sur les indications que donne la lampe en présence des autres gaz, trouva la mort parce qu'il ignorait qu'elle ne fournit aucune indication directe en ce qui concerne l'oxyde de carbone. De même que les autres gaz inflammables, il produit une auréole lorsque la teneur dépasse 1 %; mais dans l'*after-damp* où le

*gobstink*, l'oxyde de carbone est toujours mélangé à un excès d'azote tel que la lampe se trouve éteinte avant que l'auréole ait pu apparaître. Ainsi que nous l'avons montré, l'extinction se produit en présence de 16 % *after-damp* ou environ 0.50 % CO.

Il est clair qu'une indication plus précise serait désirable. L'auteur a décrit<sup>(1)</sup> une méthode colorimétrique permettant de déceler l'oxyde de carbone, même à partir de 0.01 %; mais elle nécessite la lumière du jour et ne peut donc être employée dans les travaux. En pratique, un autre procédé semble pouvoir être préconisé : on sait que chez les animaux de petite taille, le temps nécessaire pour qu'il y ait saturation complète du sang par l'oxyde de carbone est de beaucoup plus court que chez l'homme; il s'ensuit qu'une souris manifesterait beaucoup plus rapidement les effets du gaz (quoiqu'elle ne succombât pas plus tôt). En d'autres termes, l'état d'une souris qui sera restée un temps très court au sein d'une proportion dangereuse d'oxyde de carbone présentera la même apparence qu'un homme qui y aura séjourné bien plus longtemps; le coefficient est d'environ 20 pour un homme au repos. Ainsi, l'auteur a constaté qu'avec 0.4 %, une souris se trouvait visiblement indisposée en 1 1/2 minute et perdait connaissance après 3 minutes, tandis que lui ne se sentit réellement incommodé qu'au bout d'une demi-heure. L'air qu'il respirait contenait approximativement la teneur de gaz qui est si souvent fatale aux sauveteurs. On voit donc combien pourraient être utiles les indications que donnerait une souris — ou tout autre petit animal — que l'on emporterait dans une cage ou simplement dans une cheminée de lampe de sûreté fermée à l'aide d'une toile métallique. Il serait prudent de considérer le danger comme imminent au moment où la souris perd connaissance. Quelques souris blanches pourraient aisément être tenues en réserve soit dans la chambre des machines du ventilateur, soit dans les écuries, soit dans tout autre endroit convenable.

Lorsqu'on présume qu'une personne a succombé à l'intoxication par l'oxyde de carbone, c'est l'examen du sang qui permettra de pouvoir se prononcer et à cet égard, quelques indications pourront être très utiles. Pour procéder à cet examen au moyen du spectroscope, on dilue le sang avec de l'eau jusqu'à ce que les deux bandes d'absorption — d'oxy- ou de carboxy-hémoglobine — deviennent

---

(1) *Journal of Physiology*, vol. XVIII, 1893, p. 463.

nettement visibles. On ajoute ensuite une goutte ou deux de sulphydrate d'ammonium et on chauffe légèrement. Si les deux bandes se trouvent alors remplacées par la bande unique de l'hémoglobine réduite, c'est qu'il ne se trouve pas d'oxyde de carbone. A notre avis, cet essai ne peut être considéré comme suffisamment délicat. En effet, les deux bandes de carboxy-hémoglobine ne sont nullement aussi bien définies que celles d'oxy-hémoglobine, et elles se trouvent dans une telle position que l'espace lumineux qui les sépare est occupé par la bande d'absorption unique de l'hémoglobine réduite, s'il y en a dans le sang après addition de l'agent réducteur <sup>(1)</sup>. Pour cette raison, si le degré de saturation est inférieur à 40 ‰, l'essai au spectroscope ne peut donner d'indication, car la double bande devient tout à fait invisible après la réduction.

L'essai colorimétrique décrit par l'auteur (voir l'appendice A) peut être simplifié comme suit : Une goutte de sang à examiner est diluée dans cent fois environ son volume d'eau ; puis, on prend comme *témoin* une solution de sang normal d'un degré de dilution sensiblement égal. Une partie de cette seconde solution est ensuite agitée avec du gaz d'éclairage, c'est-à-dire saturée d'oxyde de carbone, ce qui en fait virer la teinte du jaune au rose. Les trois solutions sont alors versées dans des tubes à réactifs étroits et de même diamètre. Si leurs forces de coloration — non pas leurs teintes — ne sont pas égales, il faut ajouter du sang ou de l'eau aux deux dernières pour les rendre telles. Cela étant, selon que la teinte de la solution de sang à examiner se rapprochera plus ou moins de l'une ou l'autre des solutions, on en conclura — avec une approximation grossière — à une teneur d'oxyde de carbone plus ou moins élevée. Cet essai, plus simple et plus délicat que l'essai au spectroscope, exige le concours de la lumière solaire. La planche colorée (1<sup>re</sup> livraison, pl. V) montre un exemple des teintes obtenues.

Le sang non dilué, examiné en masse, n'a pas la teinte particulière due à la présence de l'oxyde de carbone. Il est de couleur pourpre sombre. La teinte foncée est due au mélange de l'hémoglobine réduite avec la carboxy-hémoglobine. Si les corpuscules ont été

---

(1) Cette hémoglobine réduite est due à la présence fréquente d'une quantité très appréciable d'oxygène dans le sang qui renferme de l'oxyde de carbone. Dans ce cas, les deux bandes s'atténuent sans disparaître complètement, en même temps qu'apparaît la troisième bande qui est moins foncée et moins nette que quand il s'agit du sang oxygéné. (Vibert, *Précis de médecine légale*, 3<sup>e</sup> édit., p. 95.)

(Note du traducteur.)

dissous par la putréfaction, la teinte sera encore beaucoup plus sombre. Ce sont les tissus et les organes qui présentent l'aspect le plus caractéristique, eu égard à la teinte rose ou rouge qui apparaît à la coupe; la coloration rouge constatée après exposition à l'air libre peut être due à la formation d'oxy-hémoglobine.

#### VI. ACIDE SULFUREUX.

Il est probable que ce gaz existe dans l'*after-damp*. Étant donnée l'irritation qu'il provoque aux yeux et aux voies respiratoires, nous croyons utile de donner quelques renseignements sur ses effets : Selon Lehmann, une teneur de 0,001 % suffit pour produire une légère irritation des voies respiratoires (1). Avec 0,003 %, elle devient des plus nettes. Ogata a constaté que 0,04 % produisent chez le lapin et d'autres animaux la dyspnée, ainsi que l'inflammation des yeux et des voies respiratoires. 0,1 % suffisait pour causer la mort au bout de quelques instants. Ce gaz est donc extrêmement toxique, mais les symptômes irritants se produisent bien avant qu'il y ait danger de mort.

Respiré en proportions dangereuses, l'acide sulfureux produit la décomposition de l'hémoglobine, ce qui rend les deux bandes d'absorption bien moins visibles au spectroscope.

Pour se rendre compte de l'existence de ce gaz dans l'*after-damp*, l'auteur a examiné le sang des victimes à l'effet de constater si l'hémoglobine avait été décomposée (voir l'appendice A). Quoique une légère décomposition se manifestât, il ne put conclure d'une manière formelle.

Les voies respiratoires des chevaux ne présentaient pas de traces bien nettes d'irritation et un survivant, dont l'auteur examina avec soin les poumons trente heures après l'explosion, ne présentait aucun symptôme de bronchite ni de pneumonie, quoique ayant été exposé longtemps à l'*after-damp* et ayant à peine repris connaissance.

---

Dans le tableau ci-contre, l'auteur a résumé l'action sur les hommes et les lumières des gaz constituant l'*after-damp*.

---

(1) *Archiv für Hygiene*, vol. XVIII, 1893, p. 180.

OXYGÈNE			ACIDE CARBONIQUE			OXYDE DE CARBONE		
TENEUR	ACTION SUR L'HOMME	ACTION SUR LES LAMPES	TENEUR	ACTION SUR L'HOMME	ACTION SUR LES LAMPES	TENEUR	ACTION SUR L'HOMME	
17,3	Aucune	E	5,5	Respiration plus profonde.	B	0,05	Au bout d'une demi-heure, tout effort provoque le vertige.	
12	Respiration un peu plus profonde	E	6	Oppression marquée.	B	0,1	Au bout d'une demi-heure, impossibilité de marcher.	
9	Respirations plus profondes et plus fréquentes. Coloration bleuâtre de la face	E	10	Douleurs violentes	B	0,2	Au bout d'une demi-heure, évanouissement suivi parfois de mort.	
5	Perte de connaissance ; puis, la mort.	E	15	Perte partielle de connaissance.	E	1	Au bout de quelques minutes, évanouissement ; puis, la mort.	
0	Mort avec convulsions.		25	Mort.	E			
<i>Black-damp</i> (contenant 87 % Az., et 15 % CO <sup>2</sup> )			GRISOU			<i>After-damp</i> (contenant 3 % CO)		
TENEUR	ACTION SUR L'HOMME	ACTION SUR LES LAMPES	TENEUR	ACTION SUR L'HOMME	ACTION SUR LES LAMPES	TENEUR	ACTION SUR L'HOMME	ACTION SUR LES LAMPES
16	Aucune.	E	1	Aucune.	L'aérole prend naissance.	2	Après une demi-heure tout effort produit un léger vertige.	B
28	Respiration un peu plus profonde.	E	2	Aucune.	Elle est bien formée.	3,5	Impossibilité de se mouvoir.	B
50	Oppression prononcée.	E	5,5	Aucune.	La flamme sort et la lampe s'éteint	7	Évanouissement.	B
66	Danger de mort.	E	45	Respiration un peu plus profonde.	E	10	Mort.	La combustion diminue
			70	Danger de mort.	E	16	Mort.	E

B signifie que la lampe continue à brûler. — E signifie qu'elle s'éteint.

*Effets produits par l'after-damp, la chaleur et la violence  
sur le parcours de l'explosion.*

I. AFTER-DAMP.

Des considérations qui précèdent, il est aisé de conclure que l'*after-damp* cause fréquemment la mort, soit par suite du manque d'oxygène, soit par suite de la présence de l'oxyde de carbone. Si l'*after-damp* était complètement privé d'oxygène, la présence de l'oxyde de carbone importerait peu, puisque ce sont là deux causes produisant les mêmes effets.

En fait, il est hors de doute qu'à Tylorstown, la cause de la mort fut, d'une manière presque absolue, l'empoisonnement par l'oxyde de carbone et non le manque d'oxygène. Dans ce dernier cas, la face, les lèvres, la langue ont une teinte bleue et l'on constate la dilatation des veines du cou et d'une partie de la poitrine. Si l'oxyde de carbone existe également dans l'atmosphère nocive, la teinte bleue subsiste néanmoins. La mort survient avant que le sang veineux ait eu le temps de se saturer de l'oxyde de carbone, chez les animaux tout au moins. A ce sujet, voici les notes concernant une souris qui fut introduite brusquement dans du gaz d'éclairage, lequel contient environ 5% CO mais pas d'oxygène :

Pattes pâles, mais bleuâtres. Langue bleue; museau et lèvres rose foncé. Teinte de la peau : bleue vers la région anale, ainsi que dans le voisinage des yeux. A la coupe, le sang des intestins est de couleur bleu rougeâtre; les grandes veines de l'abdomen, gonflées de sang bleu. Foie congestionné de sang bleu rosé. Poumons rose clair. A l'essai colorimétrique, l'hémoglobine du foie, des reins et de la veine cave inférieure fut trouvée saturée d'oxyde de carbone environ au 1/3. L'hémoglobine de la rate libre de ce gaz. Celle des poumons semblait être saturée, mais il fut impossible d'en obtenir un échantillon.

Nous en concluons que le sang contenu dans les veines et la plupart des organes n'est que partiellement saturé dans les cas de suffocation par une atmosphère privée d'oxygène et contenant une teneur élevée d'oxyde de carbone.

Ce fait explique les guérisons extraordinairement rapides que l'on a parfois observées dans les cas d'empoisonnement aigu par le gaz d'éclairage : aussitôt que le gaz est chassé des poumons et remplacé par un apport copieux d'oxygène, le sang veineux non saturé qui y

arrive se charge abondamment d'oxygène et produit rapidement la guérison dès qu'il est arrivé aux tissus (1).

A l'exception des nos 19 et 21, aucun des hommes tués par l'*after-damp* à Tylorstown ne présentait l'aspect que nous venons de décrire. Donc, il subsistait dans les galeries parcourues par l'explosion une quantité d'oxygène suffisante pour entretenir la vie : 5 % au minimum, soit 25 % d'air pur. Ce fait nous causa une surprise extrême, car nous pensions que la présence d'oxyde de carbone dans l'*after-damp* supposait la combustion de tout l'oxygène de l'air et, par suite, l'asphyxie par manque d'oxygène.

Il existe d'ailleurs d'autres raisons de conclure à la présence de l'oxygène, même immédiatement après le passage de la flamme. Un petit incendie fut découvert, près du puits n° 8 après l'explosion de Tylorstown, en un endroit où elle avait passé. Cet incendie était dû à l'inflammation d'un petit soufflard au moment du passage. D'autre part, d'après les expériences du professeur Clowes, la flamme du grisou nécessite environ la même teneur en oxygène qu'une lampe ou une bougie. Donc il devait y avoir, immédiatement après le passage de l'explosion, un minimum de 17 % d'oxygène disponible en cet endroit. En d'autres, le boisage avait été brûlé et l'on retrouve une casquette brûlée également. Des faits analogues sont constatés, d'ailleurs, dans toutes les explosions. Or, la combustion ne peut s'opérer qu'en présence d'une grande quantité d'air pur dans les galeries où l'explosion vient de passer. Ces incendies sont une source de danger, eu égard au grisou qui peut s'accumuler au toit. Il est probable qu'ils seraient plus fréquents s'ils n'étaient éteints par la poussée gazeuse de l'explosion, ainsi que par l'averse de poussière, de menu, etc., qu'elle entraîne.

On peut conclure de ce qui précède qu'en moyenne, l'atmosphère contient 50 % d'air au moins dans les galeries que l'explosion vint de parcourir. En certains endroits, cette proportion atteint 80 % et même plus, probablement où il n'y a pas assez de poussière pour consumer la totalité de l'oxygène présent. Il faut tenir compte également de l'apport fourni par les courants qui arrivent des masses d'air voisines, dont ils sont aspirés au moment où, l'*after-damp* se refroidissant, a lieu la condensation de l'humidité qu'il renferme.

---

(1) Un cas intéressant a été décrit par M. le colonel Elsdale, dans le *Nineteenth Century*, vol. XXIX, 1891, p. 719.



Cela étant, puisque l'*after-damp* est dilué avec 50 à 80 % d'air, le mélange total ne contiendra pas plus de 0.6 à 1.5 % d'oxyde de carbone. La distribution du sang saturé dans les vaisseaux semble confirmer cette conclusion. M. le professeur Héger a démontré, en effet, qu'en cas d'intoxication violente par des teneurs relativement élevées d'oxyde de carbone, ce gaz ne peut être décelé dans le sang de la rate à l'examen spectroscopique : la mort est si rapide que, tout comme dans le cas de suffocation par le gaz d'éclairage, le sang veineux n'a pas le temps voulu pour se saturer d'oxyde de carbone. C'est le manque soudain d'oxygène, dû à l'empoisonnement par l'oxyde de carbone, qui produit un arrêt réflexe de la circulation, de même que dans le cas de la suffocation par absence d'oxygène ; et cet arrêt empêche le sang veineux d'atteindre, avant la mort, un degré suffisant de saturation.

Dans les échantillons de sang veineux provenant des victimes n<sup>os</sup> 12 et 44, le degré de saturation de l'hémoglobine était de 79 %. C'est un degré très élevé, tel que l'on ne peut s'attendre à rencontrer que dans les cas où la mort a été causée par une proportion très petite d'oxyde de carbone. Le n<sup>o</sup> 12 mourut au sein d'un *after-damp* très dilué, car il n'était pas brûlé et gisait à côté d'une lampe allumée. Donc il ne pouvait y avoir plus de 1/6 *after-damp* dans l'atmosphère. D'autre part, le n<sup>o</sup> 44 était couvert de poussière de houille et brûlé de toutes parts ; une couche de poussière recouvrait la bouche. Il avait évidemment été exposé en plein à l'explosion. Comme le degré de saturation du sang était exactement le même chez ces deux victimes, nous en concluons que la teneur de l'oxyde de carbone diffère peu entre l'atmosphère d'un endroit situé sur le trajet même de l'explosion et celle d'un autre où elle n'avait cessé de rester propre à entretenir la combustion. Le degré de saturation élevé du n<sup>o</sup> 44 ne présente rien d'anormal, car il semble avoir été de règle que, dans tous les cas où les brûlures étaient graves, la teinte rouge-carmin du sang était fort prononcée.

Chez les chevaux, le degré de saturation était très élevé également, et exactement le même dans les deux ventricules. Ce fait démontre à l'évidence que la mort survint dans une atmosphère contenant une quantité fort restreinte d'oxyde de carbone. On peut déduire la même conclusion de ce que le sang de la rate, quoique paraissant foncé dans certains cas, présentait à l'analyse un degré de saturation presque aussi élevé que celui des autres parties du corps. Tel fut le cas du cheval n<sup>o</sup> 6 dont le sang, très foncé, fut spécialement examiné.

Comme la teneur d'oxyde de carbone dans l'air des galeries que parcourt l'explosion est d'une grande importance, l'auteur a fait des observations sur des animaux placés dans des atmosphères contenant des quantités diverses d'oxyde de carbone, à l'effet de se rendre compte des phénomènes correspondant à chacune d'elles.

I. — Souris introduite dans de l'air contenant 3,6 % d'oxyde de carbone. Au bout de 15'', l'animal perd connaissance. Convulsions après 20''. Tout mouvement cesse au bout de 1 1/4'.

À l'examen *post mortem*, la peau des pattes, etc., fut trouvée pâle et bleu rougeâtre lorsque la teinte était visible. La langue et les lèvres congestionnées et bleu-rougeâtre foncé. Le foie et les reins congestionnés et bleu-rougeâtre. Le sang du foie et des veines abdominales saturé d'oxyde de carbone, à environ 60 %. Au spectroscope, les bandes d'oxyde de carbone n'étaient que faiblement visibles. La solution de sang, comparée comme couleur à celle qui provenait du cadavre n° 12, fut trouvée moins rose. Le sang des reins était saturé à 50 % environ. Celui de la rate ne marquait aucune trace d'oxyde de carbone au spectroscope.

A en juger par cet examen, il devait y avoir beaucoup moins que 3,6 % d'oxyde de carbone dans l'*after-damp* à Tylorstown.

II. — Souris introduite dans l'air contenant 1,8 % d'oxyde de carbone. Convulsions après 40''. Tout mouvement cesse au bout de 3'.

À l'examen *post mortem*, on trouve la peau pâle, le foie rouge et congestionné, la langue rose, de même que la partie supérieure de l'intestin grêle. Le sang veineux de la veine axillaire saturé à 80 %. La solution semblait être exactement de même teinte que celle du cadavre n° 12 et donna, après réduction, une double bande fort distincte. La rate, de couleur rouge foncé, ne fournit pas assez de sang pour l'examen.

III. — La même expérience donna les mêmes résultats quant à la saturation du sang, mais la cessation des mouvements survint un peu plus tard.

Si l'air contient des quantités moindres d'oxyde de carbone, la mort arrive moins vite (à partir de 0,3 %), mais la saturation finale du sang est sensiblement la même.

Pour se rendre compte de l'influence d'un gaz inerte, influence qui se manifeste lorsque la quantité d'oxyde de carbone diminue sur le parcours de l'explosion, l'auteur a fait une expérience avec de l'air contenant 50 % d'hydrogène, représentant l'azote de l'*after-damp*. Teneur d'oxyde de carbone : 1,8 %.

IV. — L'animal tomba au bout de 20''. Convulsions après 30''. Cessation de tout mouvement : 2'.

A l'examen *post mortem*, la peau était pâle. Les lèvres et la langue bleu-rougeâtre. Le foie rouge et congestionné. Le sang de la veine axillaire et du foie saturé à 80 % environ. Teinte semblable à celle du sang provenant du n° 12. Rate congestionnée. Le sang de la rate ne donna aucune trace de la double bande après réduction ; donc son degré de saturation était inférieur à 50 %.

D'après cette expérience, on peut admettre qu'il y avait au maximum 2% d'oxyde de carbone dans l'air qui se trouvait sur le trajet de l'explosion, au moins dans celui où furent tués les chevaux examinés, puisque même le sang de la rate était fortement saturé d'oxyde de carbone et donnait, après réduction, une double bande d'absorption nettement distincte.

L'irritation des yeux et des voies respiratoires semble être ressentie en général dans l'air contenant l'*after-damp*. C'est probablement l'acide sulfureux qui en est la cause <sup>(1)</sup>. Mais nous pensons qu'il n'y en avait pas en proportion toxique.

D'après tout ce qui précède, on peut admettre que le mélange gazeux présent lorsqu'une explosion vient de se produire comprend en moyenne 50 à 70 % d'air, 1 à 1 1/2 % d'oxyde de carbone, 4 à 6 % d'acide carbonique et de l'azote. Il est clair que ces chiffres ne peuvent être que grossièrement approximatifs ; néanmoins ils peuvent servir de base à l'effet d'apprécier l'action de l'*after-damp*, ainsi que le délai maximum dont on peut disposer utilement pour fournir de l'air frais aux hommes qui gisent dans la mine.

La présence de 4 à 6 % d'acide carbonique causera une oppression légère, mais rien de plus. Cette oppression, propre à augmenter indirectement l'apport d'oxygène aux poumons, compensera ainsi la pauvreté de l'atmosphère.

Quant à la proportion d'oxyde de carbone, elle est plus que suffisante pour amener la mort, mais pas immédiatement. Se basant sur les expériences ci-dessus décrites et tenant compte de ce que les échanges respiratoires sont vingt fois plus rapides chez la souris que chez l'homme, on peut admettre que la mort ne surviendra qu'au bout d'un délai variant de 40 minutes à 1 heure, délai qu'il s'agit de mettre à profit pour le sauvetage. La perte de connaissance surviendra beaucoup plus tôt, au bout de 8 à 12 minutes en général.

---

(1) Dans le pays de Galles, on considère communément l'*after-damp* comme du soufre et son odeur est dite sulfureuse.

## II. — ÉLÉVATION DE TEMPÉRATURE.

En l'absence de résultats expérimentaux directs relatifs aux conditions physiques et chimiques suivant lesquelles se propagent les explosions, il est absolument impossible de se faire une idée, même approximative, de la manière dont se produisent les brûlures.

A Tylorstown, aucune des victimes n'a péri des suites de brûlures mais souvent — et surtout lorsque le haut du corps n'est pas protégé par les vêtements — il arrive qu'une partie suffisamment étendue de l'épiderme se trouve atteinte pour causer la mort, indépendamment des effets de l'*after-damp*.

Toutefois, il faudrait se garder de conclure trop rapidement à cet égard. Lors de l'explosion de Park Slip, sur 110 ouvriers qui trouvèrent la mort, le rapport médical affirme que 4 seulement périrent par l'*after-damp*, tandis que 100 autres succombèrent aux brûlures et aux chocs qu'ils subirent. Mais, d'autre part, le rapport officiel de MM. Robson et Atkinson établit de la manière la plus formelle que la plupart des victimes ne se trouvaient aucunement dans le voisinage des flammes dues à l'explosion; certaines d'entre elles parcouraient la mine plusieurs heures après l'explosion, sans se plaindre de brûlures, jusqu'au moment où, pénétrant trop avant dans l'*after-damp*, elles trouvèrent la mort. Nous en concluons que l'examen des cadavres peut, sans aucun doute, donner lieu à des opinions erronées quant à la gravité et même à la réalité des brûlures (1).

La chaleur de combustion du méthane (ou du gaz dégagé par les poussières de houille) est d'environ 12000, si on déduit la chaleur latente de la vapeur d'eau formée. En d'autres termes, l'unité de poids de méthane produit, par sa combustion complète, une quantité de chaleur suffisante pour élever de 1° C. la température de 12000

---

(1) Dans une note publiée en 1815, John Buddle, l'inspecteur des mines bien connu, estimait qu'à la suite d'une explosion, la proportion moyenne des morts par suffocation s'élève à 75 % au moins. De l'examen des plans relatifs à une ou deux des plus récentes catastrophes, nous sommes arrivé à une conclusion analogue (*British Association, Report, 1894*). Nous sommes d'avis que les causes indiquées en général lors des enquêtes sont absolument inexactes. Il est admissible de déduire des faits mis en lumière par l'explosion de Tylorstown, que 90 % des victimes succombent, en moyenne, dans les catastrophes minières, sous l'action de l'*after-damp*.

unités de poids d'eau. La combustion d'un volume de méthane demande environ 10 vol. d'air. La température du mélange explosif ne dépasse pas 2000° C. (1). Il est probable que cette température ne sera atteinte à aucun moment, car une grande quantité de chaleur est absorbée par l'échauffement, l'agglutination ou la distillation de la poussière de houille qui se trouve déjà en suspension dans l'air (2).

Immédiatement après la flamme de l'explosion passe un tourbillon de poussière, de menu, etc., dont l'action réfrigérante sur l'*after-damp* chaud doit être des plus prononcées et des plus rapides. Il y a généralement au moins un pouce de poussière sur le sol des galeries de roulage et il y en a également beaucoup sur les boisages, ainsi que les parois. Toute cette poussière, fine ou non, sera violemment balayée par le souffle de l'explosion. Admettant sur le sol une couche de poussière d'une épaisseur d'un pouce (25.4<sup>mm</sup>) et une hauteur de galerie égale à 6 pieds (1<sup>m</sup>.829), on en déduit une propor-

---

(1) MALLARD et LE CHATELIER. *Annales des Mines*, 8<sup>e</sup> vol., t. IV, p. 509.

Les chiffres trouvés par ces savants ingénieurs sont de 2150° comme température de combustion, à volume constant, du mélange d'air et de grisou dont les proportions correspondent à une combustion totale, et 1850° sous pression constante.

(Note du traducteur.)

(2) La poussière provenant du charbonnage d'Albion, contigu à celui de Tylorstown, dégage 14.1 % de produits volatils, d'après l'analyse de M. Orsman publiée dans le rapport de M. Henry Hall à la Commission des Poussières, p. 15. Admettons, ce qui est vraisemblable, que la moitié environ de ces produits volatils soit mise en liberté au cours de l'explosion; chaque volume de poussière dégagera 1/14 de son poids, soit 150 fois son volume de gaz de houille. Si donc la quantité de fine poussière de houille en suspension dans l'air est de 0.1 % en volume, elle dégagera une quantité de gaz correspondante à l'*after-damp* non dilué; il en fut ainsi à Tylorstown.

La présence d'une quantité notablement supérieure à 0.1 % de poussière fixe provoquerait l'absorption par la poussière d'une quantité de chaleur et la production d'une quantité de gaz telles que la propagation de l'explosion se trouverait arrêtée. D'autre part, avec moins de 0.1 %, il n'y aurait pas production d'une quantité de gaz suffisante pour propager l'explosion, ou tout au moins pour engendrer un *after-damp* contenant de l'oxyde de carbone. Nous pouvons donc considérer 0.1 % comme étant la proportion probable, en volumes, de la poussière en suspension dans l'atmosphère explosive. Il y aurait incontestablement grand intérêt à pouvoir réaliser des expériences propres à élucider cette question, ainsi que d'autres se rattachant à la propagation des explosions de poussières. Il ne semble pas improbable, par exemple, que des mesures telles que l'enlèvement de l'excès de poussière ou bien l'arrosage modéré ou partiel, pratiqués si régulièrement dans maints charbonnages, soient propres à augmenter, au lieu de diminuer, les chances d'une explosion de poussière.

tion d'environ 1 1/2 % de poussière en suspension dans l'*after-damp* chaud. Or, la quantité de chaleur nécessaire pour l'échauffement d'un volume donné de poussière de houille est environ 1000 fois plus grande que s'il s'agit d'un même volume d'air ou d'*after-damp*. Donc l'addition des 1 1/2 % de poussière de charbon à l'*after-damp* refroidira rapidement le tout à une température d'environ 150°.

Une autre cause de refroidissement, c'est le mélange de l'*after-damp* pur avec l'air non consommé. Nous avons montré qu'au moment où l'explosion vient de parcourir les galeries, il reste en général au moins 50 % d'air intact. La température moyenne se trouvera donc réduite à 70° C. ou moins encore. D'autre part, le heurt violent de la masse gazeuse contre le toit, le sol et les parois des galeries, causera un nouvel et rapide abaissement de température, de telle sorte qu'au bout de très peu de temps, elle ne dépassera certainement pas 60°. Une telle température pourrait être supportable dans l'air sec; mais dans l'*after-damp* dilué, il se trouve environ 10 % d'humidité, et l'air échauffé à 60 % est à demi saturé. Dans une telle atmosphère, la respiration est pénible et la température du corps s'élève rapidement. Toutefois, l'air ne tardera pas à refroidir, et comme il est plus sec et plus froid dans le voisinage du sol, on se placera dans la situation la plus favorable si l'on se couche à terre.

Il est probable que l'excès de poussière n'agira pas uniquement en absorbant une partie de l'énergie de l'explosion, mais encore en condensant et en s'assimilant une partie des produits gazeux toxiques que renferme l'atmosphère. On sait, en effet, que la poussière de houille a le pouvoir d'absorber les gaz. Ainsi, lorsque s'est produite une explosion et que l'air frais a passé ensuite, même depuis quelque temps, l'atmosphère semble néanmoins avoir encore une légère action irritante, comme si les gaz occlus dans la poussière étaient graduellement mis en liberté au moment de son passage.

Le soulèvement de l'épiderme, observé dans les cas de brûlure (voir p. 124), fut provoqué probablement par la soudaine mise en liberté du gaz ou de la vapeur d'eau existant entre les couches de l'épiderme, sous l'action si brusque de l'atmosphère très chaude engendrée par l'explosion. Nous ne pensons pas que cette lésion implique de dommage sérieux : la couche de gaz et de vapeur empêche la pénétration de la chaleur dans les portions internes — sauf par radiation — à l'exemple de ce qui se passe dans le cas d'un liquide placé brusquement sur une surface très chaude et qui prend

l'état sphéroïdal. Même la peau si délicate d'une grenouille n'est pas endommagée si on plonge l'animal pendant un moment dans du plomb fondu.

Un ingénieur attaché à un charbonnage, qui avait reçu une brûlure lors d'une explosion de peu d'importance, nous rapporta que la séparation de la couche externe de l'épiderme des mains s'était produite immédiatement et que les ampoules étaient survenues plus tard ; le derme présentait une certaine siccité.

Nous pensons qu'un doute réel peut subsister quant au degré de danger effectif des brûlures produites par les explosions de poussière ; il est certain qu'en général, elles ne sont pas aussi graves qu'on le croit habituellement et qu'elles sont bien rarement propres à causer les difformités que provoquent si souvent les brûlures d'autre sorte.

En résumé, rien n'autorise à affirmer, comme on l'a fait à maintes reprises, que parmi les hommes ayant succombé à l'intoxication par l'oxyde de carbone, il en est une proportion notable dont les brûlures eussent été suffisantes pour causer la mort.

### III. — VIOLENCE.

La mort par suite de violence mécanique survint chez cinq des victimes, soit 9 % du total. En outre, parmi celles qui périrent sous l'action de l'oxyde de carbone, il en est deux ou trois qui reçurent, peut-être avant la mort, des blessures qui l'eussent certainement déterminée. D'autres avaient été étourdies et étaient tombées sans connaissance par suite de la violence du choc. Les blessures produites, telles que fracture du crâne, luxation et fracture des membres, etc., peuvent vraisemblablement avoir été causées par la poussée d'une quantité d'air énorme se déplaçant avec une vitesse d'au moins 100 milles (160 kilomètres) à l'heure.

De tels effets ne présentent rien d'anormal. Dans un ouragan, si la différence entre deux points voisins situés sur la ligne de direction du vent est même faible au point de ne pouvoir être appréciée à l'aide des instruments de mesure ordinaires, la force peut néanmoins être telle que les murailles ou les arbres se trouveront renversés et que les hommes ou les animaux seront projetés avec une violence extrême sur les objets placés dans le voisinage. Si un égout ou bien toute autre galerie souterraine communique avec l'air extérieur au

moyen de ventilateurs placés à une certaine distance l'un de l'autre et si le vent souffle dans la direction de la galerie, il se produit un tel courant d'air que les flammes découvertes sont éteintes immédiatement. Et la différence de pression, qui chasse l'air, est trop faible pour pouvoir être mesurée.

Une poussée motrice équivalente à un pied d'eau, entre deux points peu éloignés d'une galerie de mine, suffit pour donner naissance à une poussée des plus violentes, propre à produire des ravages redoutables. Étant donné que les wagonnets, les boisages, les cages, etc., qui se trouvent sur le trajet d'une explosion sont plutôt entraînés en bloc, il est probable que la force d'entraînement, développée surtout par l'expansion due à l'échauffement, n'est pas des plus considérables. Les hommes placés dans le voisinage du chemin que parcourt l'explosion perçoivent parfois la soudaine irruption de la masse gazeuse sous forme d'une sorte de sifflement. Cette impression correspond à une brusque, mais faible modification de la pression ; elle est causée par une petite quantité d'air qui passe très rapidement dans l'oreille moyenne à travers la trompe d'Eustache. S'il y avait réellement un accroissement soudain et considérable de pression, il crèverait le tympan et provoquerait la surdité. Même la légère augmentation de pression que l'on subit lorsqu'on descend dans un puits est suffisante pour causer une tension désagréable du tympan lorsque les trompes d'Eustache sont obstruées par un catarrhe.

Ce qui précède nous porte à croire que la plupart des blessures proviennent de la poussée violente de la masse gazeuse, qui soulève les hommes et les projette avec force sur les objets environnants. La conclusion pratique à en tirer, c'est que les hommes, dès qu'ils entendent approcher l'explosion, ne doivent jamais tenter de se sauver à la course mais tout au contraire, se coucher à plat et autant que possible en un endroit où ils soient à l'abri du choc des wagonnets ou autres objets qui peuvent être projetés par la violence de l'explosion.

*(La fin à la prochaine livraison.)*

---