

Effets, sur l'organisme humain, de l'inhalation d'air contenant de l'anhydride carbonique (CO₂)

par L. DE CONINCK,

Directeur du Centre national belge de Coordination
des Centrales de Sauvetage.

SAMENVATTING

Het koolzuuranhydride is een giftgas.

Het is veel zwaarder dan de lucht ; daarom vindt men het op de laagst gelegen punten van de werkplaatsen.

Een persoon vergiftigd door CO₂ moet behandeld worden zoals een verstikte.

CO₂ wordt in de mijn op velerlei wijzen gevormd : zelfontbranding, branden, ontploffingen, diesellocomotieven, enz.

Men kan het opsporen met behulp van de vlamlamp, volgens de colorimetrische of de scheikundige methode, door absorptie.

Het vergiftigingsgevaar van lucht met CO₂ is evenredig met het CO₂-gehalte en de duur van verblijf.

De toegelaten verblijfsduur in bedorven atmosfeer wordt gegeven in de bijgevoegde tabel.

Wanneer de lucht koolmonoxyde (CO) en koolzuuranhydride (CO₂) bevat en tevens meer dan 17 % zuurstof, is men nog niet strikt verplicht een ademhalingsstoestel met gesloten omloop te dragen. In bepaalde omstandigheden kan een anti-CO-filter volstaan, doch dan moet de verblijfsduur geregeld worden volgens de tabel van het vergiftigingsgevaar door CO₂.

INHALTSANGABE

Kohlendioxyd ist ein giftiges Gas. Es ist wesentlich schwerer als Luft und sammelt sich daher im unteren Teil der Stollen und Strecken an.

Im Fall von Kohlensäurevergiftungen ist die gleiche Behandlung vorzunehmen wie bei Ersticken.

In der Grube kann sich CO₂ aus einer ganzen Anzahl von Quellen entwickeln ; Grubenbränden, Explosionen, Diesellokomotieven usw. Zu seiner Aufspürung dienen Flammenlampen, Farbes-

RESUME

L'anhydride carbonique est un gaz toxique.

Il est beaucoup plus lourd que l'air. C'est pourquoi, il s'accumule dans les points bas des ateliers de travail.

Un intoxiqué par le CO₂ doit être traité comme un asphyxié.

Les sources de CO₂, dans la mine, sont très nombreuses : feux, incendies, explosions, locomotives Diesel, etc

On le détecte au moyen de la lampe à flamme, des tubes colorimétriques, des analyseurs chimiques, des absorbeurs.

La toxicité de l'air pollué par le CO₂ est proportionnelle à la teneur en CO₂ et au temps de séjour dans cet air.

Les temps de séjour tolérables en atmosphères polluées par le CO₂ sont donnés par le tableau en annexe.

Lorsque l'air contient de l'oxyde de carbone (CO), de l'anhydride carbonique (CO₂) et plus de 17 % d'oxygène, le port de l'appareil respiratoire à circuit fermé n'est pas toujours indispensable. Dans certaines conditions, l'emploi de filtres contre le CO est permis, mais dans ces cas, il faut limiter les temps de séjour ou de travail conformément au tableau de toxicité du CO₂.

SUMMARY

Carbondioxide is a poisonous gas.

It is much heavier than air. That is why it accumulates in the lowest parts of the workshops.

Anyone poisoned by CO₂ has to be treated for asphyxiation.

The sources of CO₂ in the mine are very numerous : fires, conflagrations, explosions, Diesel engines, etc...

It can be detected by means of a flame lamp, colorimetric tubes, chemical analysers, absorbers.

sungsgeräte, chemische Analysengeräte, Absorptionsgeräte usw.

Der Grad der Giftigkeit von CO₂ verseuchter Luft ist dem CO₂-Gehalt und der Verweilzeit proportional. Aus einer dem Aufsatz als Anhang beigegebenen Tabelle ist zu ersehen, wie lange man sich in einer CO₂-geschwängerten Atmosphäre aufhalten darf.

Enthält die Luft CO, CO₂ und mehr als 17 % Sauerstoff, so braucht man nicht unbedingt ein Atemgerät mit geschlossenem Kreislauf zu tragen. Unter gewissen Bedingungen ist die Verwendung von CO-Filtern zulässig, doch müssen sich Verweil- oder Arbeitszeit dann in den Grenzen halten, die aus der Tabelle zu entnehmen sind.

L'air atmosphérique se compose normalement d'azote, d'oxygène, de gaz rares et d'un peu d'anhydride carbonique (0,03 %).

En passant dans la mine, la composition de l'air se modifie légèrement. Il s'appauvrit en oxygène, se charge d'un peu de grisou et la teneur en anhydride carbonique augmente légèrement (0,2 à 0,4 %).

Dans des circonstances spéciales (feux, incendies, dégagements instantanés, perturbations d'aérage, etc...), la composition de l'air de la mine peut cependant subir des modifications beaucoup plus importantes.

L'air de la mine peut devenir asphyxiant, explosif et toxique.

Il sera asphyxiant si la teneur en oxygène tombe en dessous d'un seuil déterminé. Il sera explosif si les teneurs en gaz combustibles (CH₄, H₂, CO) et en oxygène sont suffisamment grandes. Il sera toxique, si les concentrations des gaz toxiques qu'il contient dépassent certaines limites.

Toxicité de l'air de la mine.

La toxicité de l'air de la mine est due, le plus souvent, à la présence d'oxyde de carbone (CO) et d'anhydride carbonique (CO₂).

Toxicité de l'oxyde de carbone.

L'affinité du CO pour l'hémoglobine du sang est très grande (300 fois celle de l'oxygène).

Le CO empêche l'oxygénation des globules rouges du sang et, par conséquent, de remplir leur rôle de dispensateurs de l'oxygène nécessaire aux cellules.

Les dangers de l'inhalation d'air contenant de l'oxyde de carbone sont suffisamment connus de tous les mineurs pour ne plus devoir les énumérer. Il suffira de rappeler qu'en cas de séjour prolongé dans l'air pollué par de l'oxyde de carbone, il suffit de quelques millièmes de % pour provoquer des accidents mortels.

The poisonousness of the air polluted by CO₂ is proportionate to the percentage of CO₂ and the time spent in this air.

The lengths of time which may be endured in atmospheres polluted by CO₂ are given in the table annexed.

When the air contains carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and more than 17 % oxygen, it is not always essential to wear a closed circuit breathing apparatus. In certain conditions, the use of filters against CO is allowed, but in these cases, the time spent in the atmosphere or at work must be limited in conformity with the table indicating the poisonousness of CO₂.

Toxicité de l'anhydride carbonique.

On se méfie, en général, beaucoup moins de l'anhydride carbonique que de l'oxyde de carbone. Le CO₂ est, en effet, beaucoup moins toxique que le CO, mais on néglige de tenir compte du fait que les quantités d'anhydride carbonique que l'on rencontre dans la mine sont, en général, beaucoup plus considérables que celles de CO. Dans les fumées d'incendie, la valeur du rapport

$$\frac{\% \text{ CO}_2}{\% \text{ CO}}$$

oscille le plus souvent autour de 10.

Le CO₂ est un gaz incolore, d'une saveur et d'une odeur légèrement acides. Sa densité est de 1,5. Un mètre cube de CO₂ pèse 1,960 kg.

La vitesse de diffusion des gaz entre eux est inversement proportionnelle à la racine carrée de leur densité. Le CO₂ étant beaucoup plus lourd que l'air se diffuse très lentement dans l'atmosphère et particulièrement dans les atmosphères au repos (vieux chantiers - chantiers barrés). Il s'accumule alors dans les points bas où l'on peut, par conséquent, rencontrer une concentration mortelle, alors que dans les points hauts de la galerie la concentration est encore inoffensive.

Le CO₂ est souvent considéré comme un gaz inerte, asphyxiant mais non toxique. Cela n'est pas exact ; c'est un gaz légèrement toxique. A faible teneur, il accélère la respiration. A des teneurs plus élevées, il agit comme un anesthésique, puis comme un asphyxiant en diminuant la teneur en oxygène de l'air inhalé.

C'est sur la propriété d'accélérer la respiration qu'est basé, en cas d'asphyxie, l'emploi du carbogène (oxygène + 5 à 7 % de CO₂). Aux U.S.A., l'emploi du carbogène est strictement interdit dans les services sanitaires de l'Armée, par suite des accidents que son emploi a entraînés. En France, l'em-

ploi du carbogène a été également abandonné par les services médicaux de l'Armée.

D'après Flury (1), les effets de l'inhalation du CO₂ sont les suivants :

- jusqu'à 2 1/2 %, en général peu d'effets, même inhalés pendant plusieurs heures ;
- à partir de 3 %, la respiration augmente et s'approfondit ;
- à partir de 4 %, se manifestent des maux de tête, une augmentation de la tension artérielle, des bourdonnements d'oreilles, un ralentissement du pouls, des battements de cœur, des vertiges, des syncopes, de l'excitation nerveuse, rarement des nausées ;
- entre 4 et 5 %, la respiration est doublée ;
- à partir de 6 %, l'accélération de la respiration augmente fortement et devient subjective (c'est-à-dire que la victime s'en rend bien compte) ;
- à partir de 8 %, dyspnée très grave (difficulté de respirer) ;
- de 8 à 10 %, syncope, la mort intervient rapidement ;
- à partir de 20 %, paralysie de tous les centres nerveux. La mort survient en quelques secondes.

D'après Kohn-Abrest (2), le CO₂ présente une toxicité propre. Son action anesthésique est réelle. L'homme éprouve un malaise réel lorsqu'il respire pendant longtemps dans une atmosphère à 0,5 % de CO₂. L'effet est beaucoup plus marqué et plus prompt dans un milieu à 1 % de CO₂. L'air à 10 % de CO₂ constitue un milieu asphyxiant.

Le rapport des travaux de l'Institut National des Mines par M. Demelene cite un extrait de Patty (3) et (4) :

- 2 % de CO₂ dans l'air d'inhalation produisent une augmentation du rythme et de l'amplitude respiratoires ;
- de 4,5 à 5 %, la respiration est difficile et même angoissée pour certains individus. Des sujets ont toutefois inhalé, pendant une heure, de l'air contenant jusqu'à 10 % de CO₂ sans manifester, par la suite, aucun trouble sérieux.

D'après Fabre (5), les effets de l'inhalation d'air contenant du CO₂ sont les suivants :

- 3 % sont supportables pendant 1/2 à 1 h ;
- 5 % sont dangereux quand ils sont inhalés pendant 1/2 h à 1 h ;
- 10 % sont mortels quand ils sont respirés pendant 5 à 10 minutes.

D'après Hervey-Elkins (6), les effets de l'inhalation sont proportionnels à la concentration et à la durée d'exposition.

D'après Collard de Montigny, le CO₂ s'absorberait aussi par la peau, au point de produire des troubles très graves.

D'après Schwenker-Becker, la résorption du CO₂ par la peau est certaine. C'est sur cette propriété que sont basés les bains de CO₂ de certaines stations thermales.

Lorsqu'on plonge les pieds dans le CO₂ pur ou en soufflant du CO₂ sur la peau, on éprouve d'abord une sensation de chaleur, ensuite des chatouillements et des picotements et après un certain temps intervient l'anesthésie.

Les effets de l'inhalation du CO₂ sont très subjectifs. Certaines personnes la supportent beaucoup mieux que d'autres. Lors de l'empoisonnement massif, par du CO₂, de Neurode (dégagement instantané de CO₂), on a trouvé, au même endroit, des cadavres à côté des survivants.

Les cardiaques et les malades des poumons sont particulièrement sensibles au CO₂. L'accoutumance au CO₂ peut faire reculer les limites de tolérance. Dans les industries de fermentation, des travailleurs ont été occupés pendant des années dans des atmosphères contenant de 1 à 2,5 % de CO₂, sans effets appréciables (Lehmann).

Prausnitz, au contraire, n'a jamais pu constater une accoutumance. Il a constaté plutôt une augmentation de la sensibilité (Empfindlichkeit) au CO₂.

Les signes de l'intoxication par le CO₂ sont les maux de tête, les sensations de compression dans la tête, des picotements sur la peau, l'irritation des muqueuses du nez, de la gorge et des conjonctives, la transpiration abondante, parfois des accès de toux, l'inconscience. Tous ces effets peuvent, parfois, persister pendant plusieurs heures (parfois plus de 24 heures) après l'évacuation de la victime en milieu sain.

Traitement des intoxiqués du CO₂.

La victime doit être traitée comme un asphyxié :

- 1°) avant tout, évacuer la victime en milieu sain ;
- 2°) appliquer la respiration artificielle ;
- 3°) inhalation d'oxygène pendant qu'on applique la respiration artificielle ;
- 4°) dans les cas graves, injections intra-veineuses (à faire par le médecin).

Sources du CO₂.

Les sources du CO₂ dans la mine sont nombreuses, les principales sont :

- 1°) les feux, les incendies, les explosions ;
- 2°) les explosifs ;
- 3°) les locomotives Diesel ;
- 4°) la respiration des travailleurs ;
- 5°) les décompositions ;
- 6°) les dégagements de CO₂ fossile ;
- 7°) l'envahissement par le CO₂ produit dans un autre chantier de travail (vieux travaux, chantiers barrés pour cause d'incendie).

Le CO₂ est très souvent accompagné d'oxyde de carbone (CO). Rappelons que le CO est au moins 50 fois plus toxique que le CO₂ et que, par conséquent, c'est le plus souvent contre le CO que les précautions devront d'abord être prises.

L'apparition de CO₂ dans l'atmosphère de la mine entraîne toujours une diminution de la teneur en oxygène. Cette diminution de teneur en oxygène de l'air peut, dans certains cas, atteindre plusieurs fois la teneur en CO₂ trouvée par l'analyse. Or, comme on sait que les phénomènes d'asphyxie débutent à 17 % d'oxygène, il peut se présenter des cas où une teneur en CO₂ de 2 %, considérée comme relativement inoffensive, peut déclencher les phénomènes d'asphyxie.

On peut en conclure que, dans la plupart des cas, ce n'est pas la teneur en CO₂ qui sera déterminante dans le choix des précautions à prendre, mais le plus souvent la teneur en oxyde de carbone ou la teneur en oxygène de l'atmosphère. Seule, l'analyse complète de l'air pourra éclairer le Directeur du sauvetage dans le choix des directives à donner aux sauveteurs.

La présence simultanée du CO et du CO₂ aggrave le danger d'intoxication. Les effets toxiques de ces deux gaz non seulement s'additionnent, mais « s'amplifient ». En effet, on a vu que le CO₂ a pour effet d'accélérer et d'amplifier la respiration. La quantité de CO inhalé, par conséquent, dans le même temps pour une même activité, par la même personne, sera donc considérablement augmentée. La toxicité du CO de l'air inspiré, en fonction du temps, sera donc plus grande que celle donnée par les diagrammes bien connus. Avec 4 % de CO₂, la toxicité du CO est doublée.

Détection du CO₂ de l'air.

- 1°) au moyen des analyseurs (Robert Müller par exemple) ;
- 2°) au moyen de tubes colorimétriques ;
- 3°) au moyen d'absorbants (« Fyrite » par exemple).

La lampe à benzine peut donner certaines indications, mais ne peut convenir comme indicateur d'alarme. Les essais de M. Demelenne ont montré que, même à 10,72 % de CO₂, la lampe ne s'éteint pas encore (p. 756, Annales des Mines de Belgique, n° 7/8 1962). Or, cette teneur est mortelle, en très peu de temps, pour l'homme.

Les petits animaux ne peuvent convenir. Les essais de M. Demelenne ont montré qu'ils résistent très bien à des teneurs qui sont mortelles pour un être humain (p. 755, A.M.B., n° 7/8 1962).

Limites de tolérance à l'inhalation du CO₂ en fonction du temps d'exposition.

Les différents toxicologues et les nombreux auteurs que nous avons consultés donnent des limites de tolérance peu précises, souvent très incomplètes, parfois contradictoires et toujours très vagues.

Le M.A.K. (Maximale Arbeits Konzentration) est la concentration limite tolérable pendant 8 heures.

Le M.A.K. du CO₂ est de 5.000 ppm (0,5 %). La réglementation minière anglaise (Coal Mine Act) fixe la limite tolérable à 1 1/4 %.

L'enrichissement en CO₂ de l'air à l'intérieur des sous-marins a constitué un problème très difficile à résoudre. La marine des U.S.A. impose, dans ses submersibles, une teneur en CO₂ inférieure à 2 %.

La réglementation minière belge prescrit que : « l'air doit être dilué d'une manière telle qu'il ne puisse constituer une cause de danger pour la santé ou la sécurité du personnel ».

Les renseignements les plus complets sont ceux donnés suivant Lehmann et Hess et que l'on trouve reproduits par plusieurs auteurs.

En tenant compte des limites données par les différents toxicologues et ouvrages consultés, nous obtenons la figure 1. Il s'agit, bien entendu, d'atmosphères exemptes de CO et contenant suffisamment d'oxygène.

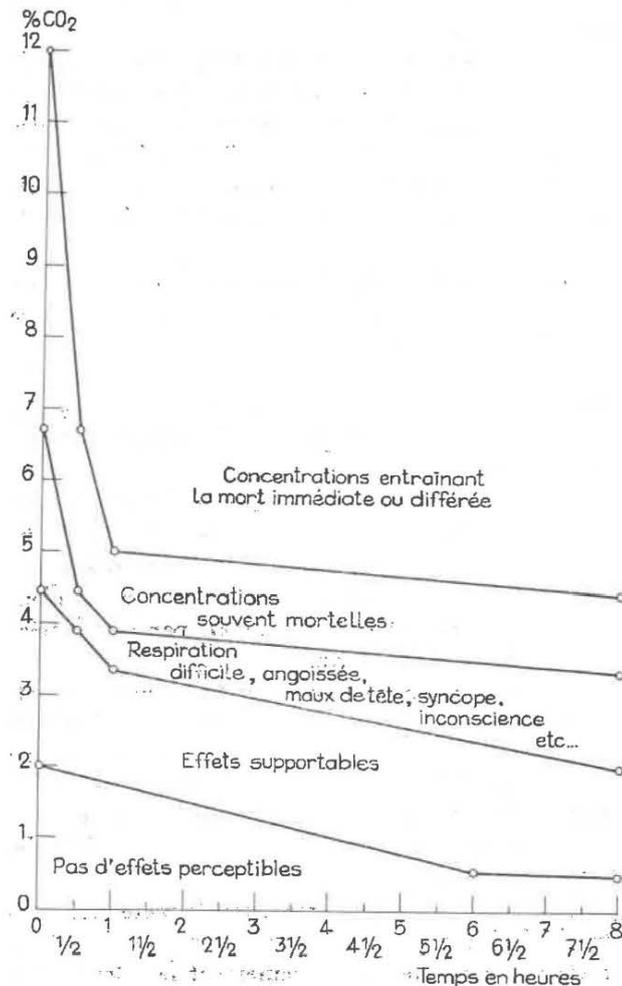


Fig. 1. — Toxicité du CO₂ dans l'air. Effets de l'inhalation d'air chargé de CO₂ en fonction de la concentration et du temps d'exposition. N.B. — Atmosphère exempte de CO (oxyde de carbone) contenant suffisamment de O₂ (oxygène).

Lorsque l'atmosphère contient suffisamment d'oxygène (17 à 18 %), mais également de l'oxyde de carbone (CO) et de l'anhydride carbonique (CO₂), l'emploi de l'appareil respiratoire à circuit fermé n'est pas toujours indispensable. Dans de pareilles conditions, le sauveteur utilisera très souvent un appareil à circuit non isolé — un filtre de protection contre le CO qui élimine l'oxyde de carbone de l'air inspiré, mais pas l'anhydride carbonique.

APPAREILS A FILTRE CONTRE LE CO

La législation belge connaît, pour les travaux de sauvetage minier, deux classes d'appareils respiratoires :

- 1°) les appareils à circuit fermé ;
- 2°) les appareils à circuit non isolé de l'atmosphère, appelés parfois appareils de protection.

Les appareils respiratoires à circuit fermé sont des appareils avec provision d'oxygène et dispositif de régénération de l'air expiré (Arr. du Régent du 25-9-47 - Art. 15, par. 2).

Ce sont des appareils tels que : les Dräger 160 A, 170, 172 BG, les Auer 54, Fenzy 56, Aerencheon, etc...

Les appareils à circuit non isolé sont ceux qui n'ont pas de provision d'oxygène, qui ne régèrent pas l'air expiré, mais qui fournissent l'air, nécessaire au porteur, en le puisant dans l'air ambiant, après l'avoir débarrassé du gaz toxique qu'il contient, puis refoulent dans l'air ambiant les produits de la respiration.

Les appareils à circuit non isolé, en usage en Belgique, sont conçus pour la protection contre l'oxyde de carbone.

Les masques de protection contre le CO, mis à la disposition de tous les travailleurs de la mine par l'Arr. Royal du 2-12-1957, sont des appareils à circuit non isolé.

Les masques (Auer 95 L - 101 — Dräger 625 ou 750) en usage en Belgique sont des appareils à circuit non isolé — *de fuite* — c'est-à-dire des appareils permettant au porteur de se sauver en cas d'envahissement des ateliers de travail par des fumées d'incendie ou d'explosion.

Ces appareils ne sont pas construits pour permettre un travail quelconque, parce que leur durée de protection efficace est trop courte et les sections de passage de l'air trop petites pour assurer un débit d'air suffisant pour une personne qui travaille.

La respiration serait trop pénible, trop difficile, même impossible.

Il existe cependant des masques de protection contre le CO construits suivant les mêmes principes, mais qui permettent, non seulement le séjour, mais également le travail même lourd dans un endroit pollué par le CO.

Ce sont à peu près les mêmes appareils, mais avec des dimensions plus grandes. On les appelle souvent

des « filtres de travail » ou « appareils à filtre contre le CO ».

Ces filtres de protection contre le CO sont des appareils respiratoires avec lesquels l'utilisateur aspire son oxygène dans l'air ambiant pollué par le CO, mais en le faisant passer, préalablement, à travers un filtre où l'oxyde de carbone est brûlé en anhydride carbonique. Ils ne peuvent donc être utilisés qu'à la condition que l'air ambiant contienne suffisamment d'oxygène.

Ces appareils respiratoires présentent de grands avantages. Ils sont beaucoup moins lourds que les appareils à circuit fermé. Leur emploi, par le porteur, ne nécessite pas une initiation compliquée ni un long apprentissage. L'entretien est très sommaire. Ils peuvent rendre d'énormes services parce qu'ils permettent : 1°) des séjours plus longs sur les lieux de travail et 2°) d'engager dans les travaux de sauvetage, en milieu pollué, des travailleurs non inscrits dans les cadres du « sauvetage » et non habitués à porter des appareils respiratoires.

L'utilisation de ces filtres exige, cependant, certaines précautions. D'après les prescriptions réglementaires belges (Arr. Royal du 3-11-1958 - art. 21, par 2) :

« L'emploi d'appareils de protection à circuit non isolé de l'atmosphère n'est admis que moyennant l'accord du Directeur Divisionnaire des Mines et à condition que l'atmosphère ait été, par des analyses préalables, puis répétées à intervalles réguliers, reconnue de qualité convenable. »

Il y a donc des limites à l'emploi de ces appareils. Les limites précises ne sont pas définies par l'Arrêté Royal.

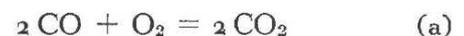
Les cas visés par l'A.R. sont ceux où la « qualité convenable » est compromise, soit par le manque d'oxygène, soit par la présence trop massive d'oxyde de carbone et d'anhydride carbonique.

Une remarque s'impose : « les analyses préalables et répétées » donneront la composition de l'air avant le passage à travers le filtre. Après le passage, la composition a subi des changements qui peuvent rendre cet air de qualité irrespirable.

Dans leurs directives d'utilisation, les constructeurs des filtres ont imposé des limites d'utilisation à des atmosphères contenant au maximum 2 % de CO et plus de 17 % d'oxygène.

Raisons de la limitation d'emploi.

Les filtres de protection contre le CO sont basés sur la combustion du CO en CO₂, en présence d'hopkalite. Cette oxydation se fait en prélevant, dans l'air inspiré, l'oxygène nécessaire. Ils ajoutent, aux constituants déjà présents dans l'air inspiré, une quantité de CO₂ égale à la teneur en CO suivant l'équation :



L'équation (a) montre que la teneur en oxygène sera diminuée d'environ la moitié de la teneur en oxyde de carbone et que la teneur en CO₂ sera augmentée d'environ la valeur de la teneur en oxyde de carbone.

Exemple : si la teneur en CO est de 2 %, celle de l'oxygène de 17 % et celle du CO₂ de 2 %, l'utilisateur inspirera en réalité de l'air contenant environ 16 % d'oxygène, et environ 4 % d'anhydride carbonique.

On voit que ce sont des limites qui deviennent dangereuses aussi bien au point de vue asphyxie que de celui de la toxicité et exigent des précautions en ce qui concerne les durées de séjour.

Toutefois, les teneurs de 2 % de CO sont rares (*). On atteint rarement 1 %. On peut en conclure que, dans les cas normaux, les teneurs en oxygène et en anhydride carbonique ne seront que fort peu modifiées par le passage à travers le filtre. L'utilisation de ces filtres sera subordonnée à la teneur en oxygène et en anhydride carbonique de l'air ambiant suivant les formules ci-dessous :

En supposant

a = % d'oxygène

b = % d'oxyde de carbone

c = % d'anhydride carbonique

Pour que l'air soit de qualité convenable, il faut :

$$a - \frac{b}{2} \geq 17 \text{ à } 18 \%$$

$$b + c \leq 0,5$$

Si $b + c \geq 0,5$, il faut limiter le temps de travail du porteur du filtre conformément au tableau de toxicité du CO₂ en prenant pour teneur en CO₂ la somme (b + c).

Si b est très petit, on peut le négliger.

L'air est de « qualité convenable » si :

$$a \geq 17 \text{ à } 18 \%$$

$$c \leq 0,5 \%$$

Si $c > 0,5$, il faut limiter les temps de séjour et de travail conformément au tableau de toxicité du CO₂.

REFERENCES

- (1) FLURY-ZERNIK : Schädliche Gase.
- (2) KOHN-ABREST : Précis de Toxicologie.
- (3) DEMELENNE : Annales des Mines, juillet-août 1962.
- (4) PATTY : Industrial Hygiene and Toxicology.
- (5) FABRE : Précis de Toxicologie.
- (6) HERVEY-ELKINS : The Chemistry of Industrial Toxicology.

(*) D'après HEISE et HERBST :
 on a dans 25 % des cas : % CO = 0
 souvent : % CO < 0,8
 rarement : % CO > 1