

IX^e Conférence Internationale des Directeurs des Stations d'Essais

(Juin et juillet 1956)

Communications analysées et résumées

par H. CALLUT

Ingénieur principal divisionnaire
attaché à l'Institut National des Mines.

(Suite) (*)

APPAREILS DE SAUVETAGE

Le problème de la construction des appareils respiratoires à circuit fermé destinés aux travaux de sauvetage dans les mines

par F. J. HARTWELL et C. R. SENNECK (21)

Les auteurs, se basant sur les connaissances nouvelles acquises surtout entre 1939 et 1945 dans le domaine de la physiologie respiratoire, tentent d'établir des règles pertinentes pour apprécier les mérites respectifs des différents types d'appareils.

Ces connaissances sont encore incomplètes, notamment en ce qui concerne les exercices physiques durs. Les données qu'on possède se rapportent surtout aux conditions normales de respiration. Elles constituent néanmoins un guide sûr pour tout travail de mise au point ou de perfectionnement d'un appareil.

Un bon appareil doit réduire le moins possible le rendement du porteur. Cette considération porte les auteurs à envisager successivement les différents facteurs influençant ce rendement :

- facteurs mécaniques : poids et encombrement;
- facteurs physiologiques : alimentation en oxygène, concentration en CO₂, température et humidité du gaz inspiré, résistance à l'écoulement du gaz dans le circuit respiratoire.

L'étude d'un appareil doit comporter des essais de laboratoire, des essais sur porteur, ainsi qu'une période d'épreuves pratiques au cours de sauvetages réels.

Les essais de laboratoire nécessitent une machine respiratoire mécanique qui simule la respiration humaine. En se reportant aux résultats de mesures de débits respiratoires effectuées par Silverman (1951), on constate qu'une pompe alternative à débit sinusoïdal représente d'une manière très convenable un poumon humain, notamment quant au rapport entre les maxima instantanés et les valeurs moyennes du débit. Une étude préliminaire en laboratoire fournit des informations précieuses pour interpréter les essais pratiques, fixer l'étendue de ceux-ci, déceler les insuffisances éventuelles de l'appareil.

Qualités générales requises en ce qui concerne la construction.

La construction doit être simple et robuste, le fonctionnement automatique et la réalisation doit inspirer entière confiance au porteur.

La durée de fonctionnement à exiger de l'appareil standard semble être de deux heures. Certains travaux de remise en état, des parcours souterrains très longs pourraient nécessiter des appareils de plus

(21) Communication n° 28 du S.M.R.E. (Safety in Mines Research Establishment) Sheffield - Grande Bretagne.

(*) Voir A.M.B., octobre, novembre 1957 et janvier 1958.

longue durée (5 à 7 heures) comme il en existe en Allemagne. Mais le besoin de tels appareils ne paraît pas encore se faire sentir en Grande-Bretagne.

Quant au poids à pleine charge des appareils existants, il varie de 13 à 18 kg. L'utilité d'une réduction de poids et d'encombrement est incontestable.

Il est intéressant aussi de rechercher une bonne disposition de l'appareil sur le corps. Il semble que la pratique de porter l'appareil sur le dos, la plus grande partie du poids reposant sur les épaules, présente le maximum d'avantages.

Alimentation en oxygène.

L'oxygène peut être transporté, soit sous forme de gaz comprimé, soit à l'état liquide, soit en combinaison chimique.

L'alimentation en oxygène doit être capable de faire face aux demandes correspondant aux périodes de travail intense. Astrant (1954) indique un maximum moyen de 4,15 litres/min pour la consommation d'oxygène de sujets masculins de vingt à trente ans se livrant à des exercices physiques provoquant des épuisements de 4 à 6 minutes. Les valeurs extrêmes des maxima déterminés dans ces conditions sont de 3,5 et 5,1 litres/min.

Il faut donc pouvoir disposer d'un débit d'oxygène de 4 litres/min au moins.

Dans les appareils à gaz comprimé, l'oxygène peut être fourni au porteur :

Le réglage d'un débit constant est une opération relativement simple ; celui d'une soupape automatique est beaucoup plus délicat. En effet, le volume du sac pour lequel doit démarrer le débit automatique d'oxygène et celui pour lequel doit s'ouvrir la soupape d'échappement dépendent du débit de la soupape automatique et du débit constant qui peut éventuellement lui être associé.

Le tableau XXXI donne trois exemples de détermination du réglage d'un débit automatique. On suppose une activité respiratoire sinusoïdale, des volumes par cycle allant de 0,5 à 4 litres et une soupape automatique fournissant un débit d'oxygène de $3,9 \pm 0,3$ litres/min.

La première colonne (volume exigé) donne le volume du sac pour lequel doit se produire l'ouverture de l'admission automatique. Si la soupape d'admission ne s'ouvrait que pour un volume inférieur, il y aurait danger d'accolement du sac.

La deuxième colonne donne le volume de gaz qui peut s'introduire dans le sac au delà du volume exigé avant que la soupape d'échappement ne fonctionne. C'est le plus petit volume nécessaire pour éviter que des inspirations et expirations consécutives ne provoquent alternativement, les premières, le fonctionnement du débit automatique et, les secondes, l'ouverture de la soupape d'échappement. Un volume plus grand ferait apparaître le danger d'accumulation de gaz inerte dans le circuit.

TABLEAU XXXI.

Réglage du débit automatique.

Alimentation en oxygène	Volume exigé en litres	Volume complémentaire en litres	Volume opérationnel total du sac en litres
Entièrement automatique	4,0	2,0	6,0
Automatique et débit constant de 1,0 litre/min	3,2	2,8	6,0
Automatique et débit constant de 1,5 litre/min	2,5	3,0	5,5

1° à débit constant de 2 litres/min et par robinet by-pass actionné par l'utilisateur aux régimes de travail intense ;

2° à débit constant inférieur à 4 litres/min et par soupape automatique lors des demandes supérieures à ce débit ;

3° par soupape entièrement automatique.

Dans les appareils à air ou à oxygène liquide, le débit dépend uniquement du taux d'évaporation. Celui-ci n'a pu jusqu'à présent être commandé que partiellement.

Le maximum moyen du rythme respiratoire est de 30 inspirations par minute et celui du volume pulmonaire de 121 litres/min.

L'expérience confirme les valeurs du tableau XXXI et prouve qu'un sac de 6 litres est largement suffisant pour les appareils à gaz comprimé. Pour les appareils à air ou oxygène liquide alimentés à débit constant, le volume du sac peut être plus petit sans cependant être inférieur à 4 litres.

Le sac doit répondre à de très faibles changements de pression, surtout si ses mouvements commandent le débit automatique d'oxygène.

Composition du gaz inspiré.

Teneur en oxygène.

Le taux de saturation en oxygène du sang artériel dépend de la pression partielle de l'oxygène dans l'air inspiré. Le niveau auquel il peut être réduit sans altérer les fonctions physiologiques varie considérablement suivant les individus et, pour le même individu, d'un jour à l'autre. Il y a de toute façon réaction sur les mécanismes visuels pour une concentration en oxygène de 16 % dans l'air sec.

Le minimum de la teneur à imposer serait donc celle de l'air ordinaire, soit 21 %.

Des concentrations plus élevées sont la règle générale. Elles provoquent une diminution du volume inspiré par minute et, jusqu'à des valeurs de 60 à 70 %, reculent le seuil de fatigue. L'oxygène pur, par contre, entraînerait une augmentation du volume inspiré par minute et causerait sur des sujets au repos, au bout d'une exposition assez longue (14 heures), des douleurs sous-sternales, des irritations du nez et de la gorge et une diminution de la capacité vitale. Lors d'un travail dur, il pourrait provoquer des effets toxiques sur le système nerveux central. Il semble donc que, dans un appareil à circuit fermé, la teneur désirable se situe entre 60 et 70 %.

Dans les appareils à oxygène comprimé, la concentration en oxygène peut tomber très bas si l'on ne prend pas de précautions. L'azote présent comme impureté dans l'oxygène utilisé s'ajoute, en cours d'emploi de l'appareil, à celui contenu au départ dans le circuit et les poumons. Si le porteur consomme 300 litres d'oxygène à 0,5 % d'azote, l'appareil doit être rempli à l'origine d'un mélange renfermant au moins 50 % d'oxygène. Avec 2 % d'impureté, la teneur limite inférieure ne peut plus être garantie, même si l'ensemble de l'appareil renferme initialement de l'oxygène pur.

Il faut donc que l'appareil soit pourvu d'une pompe de purge ou qu'il soit balayé sérieusement avant usage par le courant d'oxygène, surtout si le débit d'oxygène est entièrement commandé par le rythme pulmonaire. Dans le cas d'une alimentation mixte (commande par les poumons et débit constant), la consommation peut, à certains moments, être inférieure au débit constant ; la soupape d'échappement s'ouvre et purge le circuit.

Teneur en gaz carbonique.

Le volume respiratoire par minute augmente en même temps que la teneur en CO₂, aussi bien dans l'oxygène que dans l'air. On ne peut évidemment tolérer dans le circuit qu'une concentration n'exer-

çant sur ce volume qu'une influence négligeable : il faut par conséquent considérer la valeur 0,5 % comme le maximum admissible.

La teneur en gaz carbonique de l'air du circuit est gouvernée par trois facteurs : l'espace mort entre les soupapes et la bouche du porteur, le « glissement » ou « perte » des soupapes et l'efficacité chimique du régénérateur.

L'espace mort d'un embout peut être réduit à 50 cm³. Celui des masques est plus important ; son volume effectif pourrait néanmoins, prétend-on, être ramené à 65 cm³ par l'aménagement de conduits intérieurs dirigeant l'écoulement des gaz.

Le « glissement » ou « perte » d'une soupape est la fraction du volume d'air qui passe en sens inverse par suite du retard à la fermeture. Ce glissement ne devrait pas dépasser 2,5 %.

La contribution totale d'un espace mort de 50 cm³ et d'un glissement des soupapes de 2,5 % est équivalente à la respiration d'un air renfermant 0,25 % de CO₂ pour un volume de 40 litres/min.

L'efficacité chimique de l'absorbant est évidemment le facteur le plus important. Cet absorbant est d'ailleurs le siège de production de chaleur et la source de résistance dynamique. Son comportement d'ensemble joue un rôle prédominant sur le confort du porteur.

Deux réactifs sont utilisés : les alcalis caustiques et la chaux sodée. Leur aptitude à éliminer le gaz carbonique est la même. Il faut moins d'alcali mais, pour éviter l'obstruction de l'absorbant, on doit placer celui-ci sur des plateaux ou des tamis ; le poids du régénérateur est ainsi légèrement supérieur à celui d'une cartouche de chaux sodée. L'alcali absorbe l'eau et maintient donc l'air plus sec ; mais une cartouche partiellement utilisée ne peut plus être employée par la suite.

La chaux sodée, plus facile à manipuler, se prête à la recharge des cartouches, mais présente à l'écoulement de l'air une résistance invariablement plus grande que les alcalis. Des précautions spéciales doivent être prises au remplissage pour obtenir un compromis convenable entre l'efficacité et la résistance.

Etat physique de l'air inspiré.

Influence de la température et de l'humidité.

Dans son parcours à l'intérieur du domaine respiratoire, un gaz inspiré, frais et sec, subit des changements rapides dans sa température et son état hygrométrique. Il en résulte, pour ce domaine, une perte de chaleur importante, due principalement à l'évaporation de l'eau et au dégagement de l'anhydride carbonique. Ce processus de refroidissement pourrait jouer, en milieu chaud et humide, un rôle prépondérant dans le maintien de la température du corps à un certain niveau de sécurité.

On ne possède pas de données physiologiques sur l'état physique optimum de l'air. Il semble cependant que l'air à 10° C, même saturé, procure au porteur des avantages indéniables.

La perte théorique de chaleur du domaine respiratoire d'un homme respirant 40 litres/min d'air, à la température de 15° C et au degré hygrométrique 75 %, est de l'ordre de 1 kcal/min. La chaleur dégagée par l'absorption du CO₂ dans le régénérateur est de 1,5 kcal/min. Si l'on veut maintenir la température de 13° C, la chaleur à enlever au circuit est donc de 2,5 kcal/min. Le problème de l'approvisionnement en air frais n'est donc pas facile à résoudre.

Moyens de contrôle de la température et de l'humidité.

On peut envisager quatre méthodes :

- 1° utilisation totale des possibilités de cession de la chaleur au milieu ambiant ;
- 2° refroidissement par détente adiabatique de l'oxygène comprimé ;
- 3° réduction de l'énergie thermique du gaz sortant du régénérateur ;
- 4° emploi d'échangeurs de chaleur chargés d'agents de refroidissement.

Le milieu ambiant ne peut être considéré comme une source de refroidissement valable, puisque l'action refroidissante sera d'autant plus faible que le milieu la rendra plus nécessaire.

La détente adiabatique de l'oxygène comprimé ne peut donner qu'un refroidissement insignifiant. Deux litres par minute détendus de 120 kg/cm² ne retireraient au circuit, avec une efficacité de 100 %, que 0,1 kcal/min.

L'énergie thermique du gaz sortant du régénérateur dépend de la nature de l'absorbant. Les alcalis caustiques et la chaux sodée produisent des quantités égales d'eau au cours de la réaction avec une molécule-gramme de gaz carbonique ; mais les premiers se combinent à l'eau avec production de chaleur, tandis que la chaux ne retient pas l'humidité. Comparativement au régénérateur à chaux sodée, l'épurateur à alcali abandonne un air plus chaud mais plus sec et, tout compte fait, d'énergie thermique plus faible, donc plus agréable à respirer.

Le S.M.R.E. a comparé les deux types de régénérateurs en débit alternatif de 40 litres/min (20 aspirations de 2 litres) d'air saturé à environ 32° C et tenant 5 % de CO₂. Les figures 34 et 35 donnent respectivement, pour l'un et l'autre de ces types, les résultats des mesures de la température, du point de rosée et de la teneur en CO₂ du gaz sortant.

Ces données permettent de déterminer le régime d'échauffement du gaz à différents instants de l'essai et, en intégrant, la chaleur totale fournie au domaine respiratoire par l'absorption d'un poids connu de gaz carbonique.

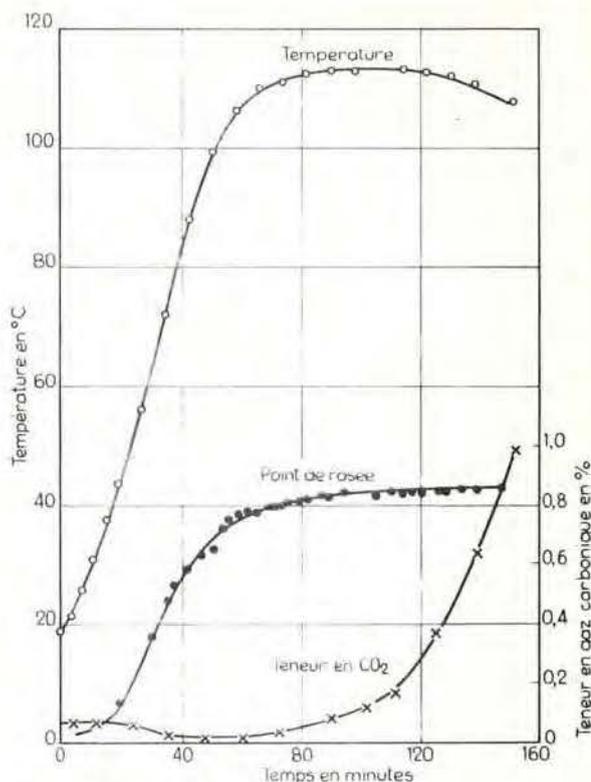


Fig. 34. — Température, point de rosée et teneur en anhydride carbonique du gaz à la sortie d'un régénérateur alcalin.

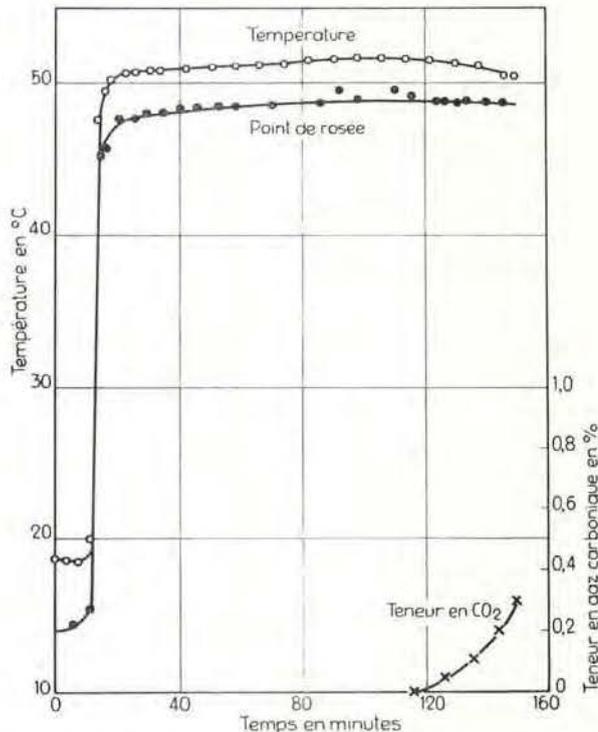


Fig. 35. — Température, point de rosée et teneur en anhydride carbonique du gaz à la sortie d'un régénérateur à chaux sodée.

Le tableau XXXII donne les résultats de ces déterminations.

TABLEAU XXXII.

Temps en min.	Régime d'échauffement en kcal/min		Chaleur totale fournie au gaz en kcal	
	Alcali	Chaux sodée	Alcali	Chaux sodée
60	1,02	1,28	— 4,8	45,2
90	1,58	1,32	29,9	82,2
120	1,48	1,32	75,1	122,0
150	1,45	1,28	120,0	161,0

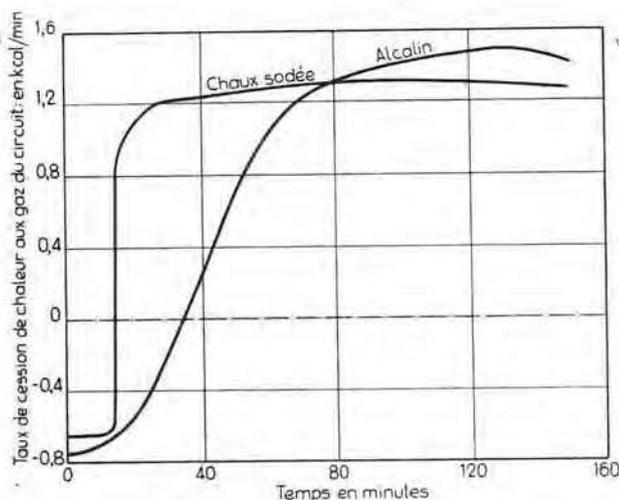


Fig. 56. — Régimes de cession de chaleur aux gaz du circuit par des régénérateurs alcalin et à la chaux sodée.

La figure 56 représente les trois premières colonnes de ce tableau. La valeur moyenne de l'augmentation d'énergie thermique est, pour l'épurateur à alcali, de 280 cal par gramme de CO_2 absorbé et, pour l'épurateur à chaux sodée, de 350 cal par gramme.

La chaleur fournie au gaz par un régénérateur à alcali reste toujours inférieure, mais le régime d'échauffement devient plus grand au bout de 80 minutes. De plus, la dissipation de la chaleur est plus grande dans les milieux plus chauds à cause du gradient de température plus élevé.

Quoi qu'il en soit, l'alcali seul ne semble pas devoir résoudre de façon satisfaisante le problème de l'alimentation en air inspiré frais et sec dans les appareils à oxygène comprimé.

On peut aussi envisager la possibilité de transporter un agent de refroidissement.

Le refroidissement peut en effet enlever au porteur une quantité de chaleur plus grande que celle que lui apporterait le supplément de travail dû à l'augmentation de poids.

On peut utiliser la chaleur spécifique et les chaleurs latentes de fusion, de volatilisation ou de sublimation.

Un système, dont le fonctionnement serait basé sur la chaleur spécifique, ne serait pas pratique à cause du supplément de poids inadmissible et de l'augmentation de la température avec le temps.

Comme agents solides, on envisage le phosphate sodique dodécahydraté (température de fusion : $56,1^\circ \text{C}$), la glace, l'anhydride carbonique solide. Comme agents liquides, les auteurs considèrent l'alcool méthylique et le chlorure de méthyle sans les préconiser, le premier étant inflammable et le second toxique.

Le tableau XXXIII donne le poids d'agent nécessaire pour refroidir 58 litres/min d'air saturé à différentes températures et le ramener à 15°C , saturé ($56,1^\circ \text{C}$ pour le phosphate sodique) pendant une durée de 120 min.

TABLEAU XXXIII.

Température initiale $^\circ \text{C}$	Régime de refroidissement kcal/min	Poids d'agent en kg				
		O_2 solide ou liquide	CO_2 solide	Alcool méthylique	Chlorure de méthyle	Phosphate sodique
50	2,15	2,7	1,56	0,97	3,30	2,27
48	1,92	2,4	1,45	0,86	2,94	1,85
46	1,70	2,1	1,29	0,76	2,60	1,47
44	1,50	1,85	1,15	0,67	2,29	1,12
42	1,32	1,65	1,00	0,59	2,02	0,79
40	1,15	1,42	0,87	0,52	1,76	0,49
38	1,01	1,25	0,77	0,45	1,55	0,22
36	0,88	1,08	0,67	0,39	1,34	—

L'emploi de la glace peut être pris en considération pour des opérations de longue haleine reposant sur des plans bien étudiés. Encore faut-il réaliser des échangeurs de dimensions acceptables.

L'utilisation de l'oxygène liquide constitue un cas spécial. On voit au tableau XXXIII qu'il faut transporter, en vue du refroidissement, le triple du poids nécessaire (0,9 kg) afin d'assurer les 4 litres/min requis pour les besoins de la respiration. Il est donc possible de rejeter plus d'air du circuit qu'avec les autres appareils et de réduire le poids du régénérateur à 0,45 kg. Les dangers à éviter sont la formation de glace qui pourrait bloquer les circuits et la sécheresse excessive de l'air inspiré, laquelle augmenterait la toxicité due à la forte concentration en O₂.

Influence de la résistance.

D'après les travaux de Silverman et ses collaborateurs (1945), on peut conclure que le travail respiratoire total, toléré par des sujets au travail, est de 6 kgm/min. Ceci amène les auteurs à considérer une résistance totale de 60 mm d'eau à 85 litres/min comme la limite acceptable. Ils justifient leur point de vue par des calculs reportés en appendice. Quant à la répartition de cette résistance sur les parties inspiration et expiration du circuit, il faut se rappeler que la résistance à l'expiration est significativement plus difficile à supporter que la résistance à l'inspiration.

Il y a lieu de remarquer que l'énergie à dépenser pour vaincre les forces élastiques du circuit n'est pas négligeable. Un sac de bonne fabrication ne doit pas nécessiter une dépense d'énergie de plus de 0,3 kgm/min pour un débit de 40 litres/min.

Dans les appareils à air ou oxygène liquide, la résistance dynamique de la partie expiration doit rester aussi faible que possible, car le travail nécessaire pour faire fonctionner la soupape d'échappement peut être considérable.

Si toutes les caractéristiques précédentes sont satisfaites, des résistances de 30 mm d'eau à l'inspiration et à l'expiration, pour un débit de 85 litres/min, constituent le facteur de limitation du rendement au travail.

Travaux récents au S.M.R.E.

Si l'on examine le comportement des appareils à circuit fermé disponibles à l'heure actuelle, il apparaît clairement que des perfectionnements sont nécessaires pour satisfaire un bon nombre des conditions exposées.

Aussi le S.M.R.E. a-t-il équipé un laboratoire d'essais d'appareils complets et d'éléments d'appareils. Les auteurs décrivent le poumon artificiel utilisé (fig. 57) et donnent des indications sur le mode d'essais (fig. 58) et sur les méthodes utilisées pour relever le degré d'humidité et les pressions dans le circuit.

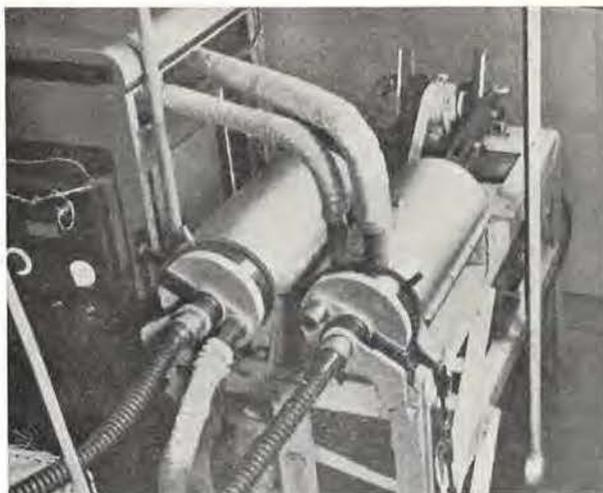


Fig. 57. — Machine respiratoire.

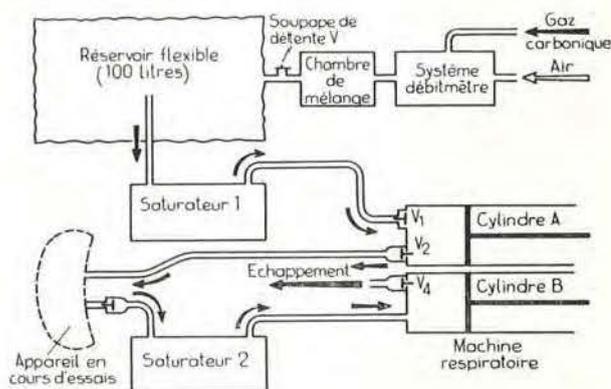


Fig. 58. — Circuit pour l'essai des appareils respiratoires.

On envisage au S.M.R.E. le problème d'un appareil capable de fournir au porteur un air frais et agréable à respirer dans des ambiances chaudes et humides. Il semble que les appareils à air ou oxygène liquide peuvent apporter une solution. La difficulté est de construire un évaporateur et un échangeur de chaleur robustes et économiques. Les auteurs donnent les deux types de récipients qui ont été examinés et l'absorbant d'oxygène qui a été retenu.

Des disques de chlorure de polyvinyle à pores très petits, alternant avec de minces feuilles de métal, absorbent très bien l'oxygène liquide et donnent des vitesses d'évaporation vraiment constantes.

Le récipient le plus avantageux est entouré d'un échangeur formé d'un labyrinthe de cylindres concentriques. L'oxygène évaporé et le gaz purifié refroidi ne présentent ainsi, au moment de leur mélange à la sortie de l'échangeur, qu'une faible différence de température, ce qui permet d'éviter la formation de brouillard : l'eau se dépose à l'état liquide.

On se propose d'étudier les dimensions et la forme à donner au réservoir pour obtenir une durée d'efficacité de 150 min, ainsi que les méthodes de remplissage rapide de ce réservoir.

Étude de l'appareil respiratoire Fenzy, Modèle 1956

par E. BERTIAUX et L. CHAINEAU

Il s'agit d'un appareil isolant avec alimentation par bouteilles d'oxygène comprimé et régénération à la chaux sodée. Le débit d'oxygène est constant et indépendant du cycle respiratoire du porteur, ce qui entraîne une grande simplicité de réalisation et de fonctionnement.

La figure 59 représente schématiquement l'appareil.

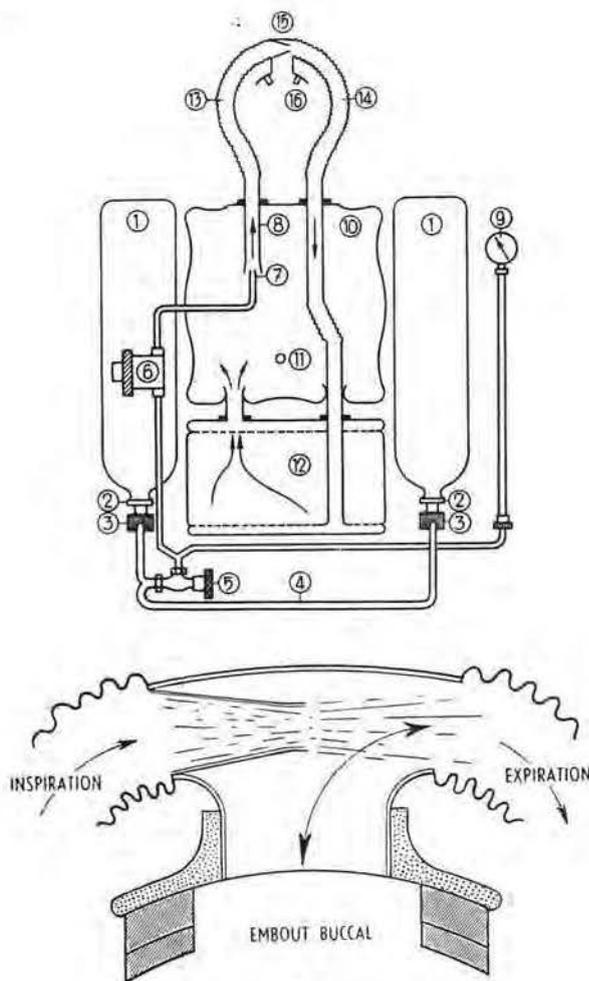


Fig. 59. — L'appareil Fenzy, modèle 1956.

1. Bouteilles d'oxygène; 2. Vannes à ouverture et fermeture automatiques; 3. Socles de fixation des bouteilles; 4. Canalisation haute pression; 5. Robinet; 6. Détendeur; 7. Gicleur; 8. Cône de venturi; 9. Manomètre; 10. Sac respiratoire; 11. Soupape de surpression; 12. Régénérateur à chaux sodée; 13. Tube souple d'inspiration; 14. Tube souple d'expiration; 15. Appareil buccal; 16. Embout.

Les deux bouteilles (1) en alliage léger, chacune de deux litres, sont chargées à la pression de 150 kg/cm^2 et fermées par des vannes automatiques (2). Lorsqu'elles sont raccordées à leur socle (5), elles sont ouvertes sur la canalisation (4) fer-

mée par le robinet (5). Quand ce robinet est ouvert, la pression de l'oxygène disponible est indiquée par le manomètre (9) et le circuit respiratoire est alimenté par l'intermédiaire de détendeur (6).

L'oxygène débouche ainsi par un gicleur (7) placé à l'intérieur du sac respiratoire (10) dans l'axe d'un cône de Venturi (8). Il entraîne l'air du sac dans le tube d'inspiration (13), l'appareil buccal (15), le tube d'expiration (14) et le régénérateur (12) contenant 2 kg de chaux sodée.

Le porteur aspire et expire dans ce courant d'air, au niveau de l'appareil buccal.

L'air sortant du régénérateur rentre dans le sac qui est muni d'une valve de surpression (11).

L'appareil buccal est pourvu d'un cône empêchant le refoulement de l'air expiré vers le sac et réduisant la pression dans l'embout (16).

Les auteurs examinent les différentes conditions auxquelles doit satisfaire un appareil respiratoire. Ils se fixent une durée d'utilisation de 2 h 30 min. Pendant cette durée, l'oxygène doit être fourni en quantité suffisante, l'air doit garder une composition et une température convenables et être disponible en volume convenant à l'amplitude des mouvements respiratoires, sans opposer à ceux-ci une résistance excessive.

Alimentation en oxygène.

D'après les différents documents consultés, la consommation d'oxygène en travail normal est de l'ordre de 1,6 litre par minute; elle ne dépasse pas 3,5 litres/min, pour un travail exceptionnel, toujours forcément de courte durée.

La provision d'oxygène de l'appareil Fenzy est de 600 litres environ, ce qui, pour un débit de 4 litres/min, assure une durée d'utilisation de 2 h 30 min. En réalité, la pression à la sortie du détendeur détermine le débit d'oxygène et cette pression diminue en même temps que la pression dans les bouteilles. Le débit du gicleur n'est donc pas rigoureusement constant. Néanmoins, les diagrammes expérimentaux de la figure 40, établis pour une chute de pression dans les bouteilles de 150 à 10 kg/cm^2 en 150 min, montrent que le débit moyen est de l'ordre de 3,7 litres/min et que le débit final est encore supérieur à 3 litres/min. De plus, les fluctuations de la pression atmosphérique et de la température ambiante n'ont qu'une influence négligeable sur ce débit.

Absorption du CO_2 .

Le volume de CO_2 produit est en relation directe avec le volume d'oxygène consommé.

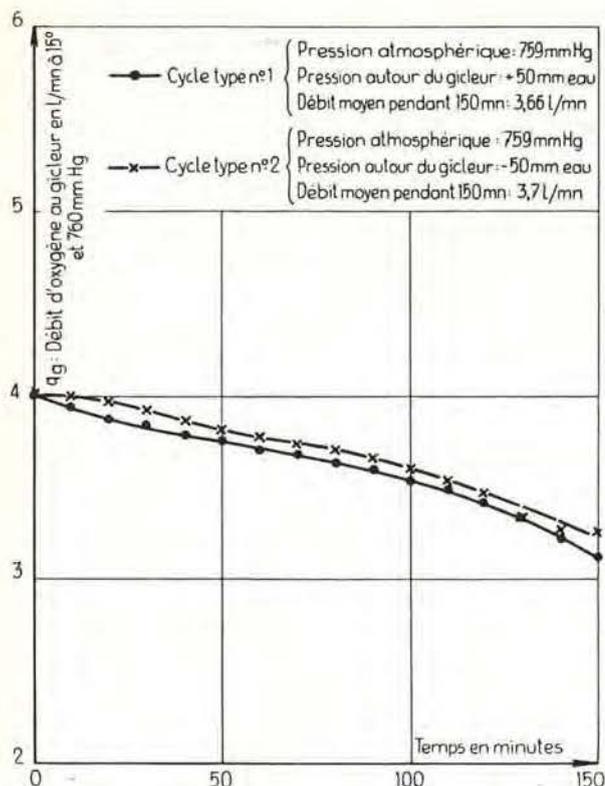


Fig. 40. — Débit d'oxygène en fonction du temps.

De l'air, par ailleurs de composition normale, peut être respiré sans inconvénient pendant 2 heures si la teneur en CO₂ est de 3 %, pendant 1/2 à 1 heure si la teneur en CO₂ est de 4 %. Les teneurs admissibles sont vraisemblablement plus élevées si l'air est très suroxygéné.

Mais dans un appareil à circuit fermé, des concentrations dangereuses peuvent être rapidement atteintes si le CO₂ cesse d'être absorbé à peu près en totalité au fur et à mesure de sa production.

Le régénérateur doit donc être capable d'absorber tout le CO₂ produit au cours de l'utilisation de l'appareil, et cela, avec une rapidité suffisante.

Dans un appareil en service réel, la composition des gaz évolue en cours d'emploi. C'est pourquoi, il a été procédé à deux types d'essais : essais de laboratoire permettant le contrôle effectif des différents facteurs de fonctionnement du régénérateur et essais pratiques sur porteur conduisant à des conclusions non critiquables.

De nombreux essais pratiques démontrent qu'une cartouche utilisée pendant 2 h à 2 h 30 min pour des travaux durs (127 essais) ou pendant 4 h 30 min pour un travail normal (9 essais) n'était pas épuisée. Dans le premier cas, elle pouvait encore assurer l'absorption du CO₂ correspondant à la consommation de 70 à 200 litres d'oxygène, dans le second cas, de 35 à 120 litres. Par ailleurs, il n'y a jamais eu d'incidents au cours des multiples exercices ultérieurs en Centrale de Sauveteage.

Le montage adopté pour les essais en laboratoire est représenté schématiquement à la figure 41. Le poumon artificiel est constitué par les deux cylindres C₁ et C₂, dans lesquels se meuvent deux pistons en phase et par le distributeur oscillant D.

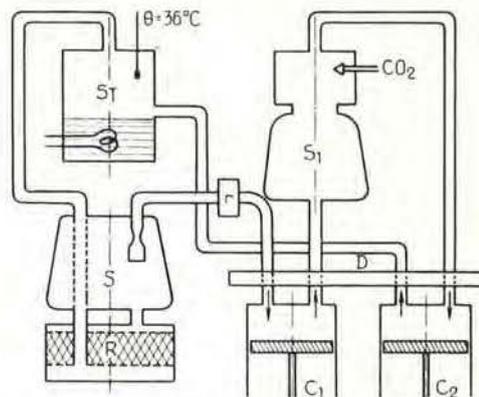


Fig. 41. — Schéma de l'installation d'essais du régénérateur. D. Distributeur; R. Régénérateur à l'essai; r. Réfrigérant; S. Sac de l'appareil; S₁. Sac tampon; ST. Saturateur.

Deux sacs respiratoires (S et S₁) sont intercalés dans ce circuit ainsi qu'un saturateur (S_T), un réfrigérant (r) et le régénérateur (R). Un débit contrôlé et continu de CO₂ est introduit dans le sac (S₁). L'admission d'oxygène est supprimée. Le saturateur fonctionne à une température voisine de 37° C et humidifie l'air entrant dans l'épurateur. Le réfrigérant (r) évite l'introduction d'eau dans les cylindres.

Le régime artificiel créé dans cette installation apparaît comme plus sévère que le régime réel au cours duquel le courant d'air induit par le Venturi répartit le passage du CO₂ dans le régénérateur sur un temps plus long et où le débit surabondant d'oxygène provoque l'ouverture plus ou moins fréquente de la soupape de surpression.

Les expérimentateurs ont fixé la teneur en oxygène dans le circuit au début de l'essai à 90 % environ et le poids de chaux sodée à 2 kg. Ils ont fait varier la fréquence et le débit moyen du poumon artificiel suivant les données du tableau XXXIV, le débit de CO₂ étant maintenu constant et égal à une fraction du débit respiratoire moyen.

Au cours de l'essai, la teneur en CO₂ est relevée toutes les 15 minutes à l'entrée et à la sortie du régénérateur, ainsi que la température de la chaux sodée. Celle-ci n'a pas dépassé 50° C et s'est trouvée voisine de 40° C quand le débit de CO₂ correspondait à une consommation normale d'oxygène pour un travail prolongé.

Les résultats sont donnés sous deux formes :

a) ensemble des valeurs f, Q_m et q pour lesquelles la teneur en CO₂ est de 4 % à la sortie du régénérateur après 150 min et volume V₄ de CO₂ absorbé pendant cette période (Tableau XXXV).

TABLEAU XXXIV.

Nombre de mouvements respiratoires par min ou fréquence f	12		24		36	48	60
	Débit respiratoire moyen ou ventilation Q_m en litres/min	57.6	40	80	40	105	122.5
Débit de CO_2 : q en litres/min	46.5	25.2	57.5		52.5	61.2	60
	de 1 à 5 % de ces débits respiratoires						

TABLEAU XXXV.

f	Q_m en litres/min	q en litres/min	$\frac{q}{Q_m} \times 100$	V_4 en litres	Chaux sodée
60	152	1,4	1,06	210	A
48	122,5	1,55	1,1	202	A
36	105	1,26	1,2	189	A
24	80,5	1,45	1,8	217	A
60	66	1,58	2,4	257	A
48	61	1,41	2,3	211	A
36	52,5	1,47	2,8	220	A
24	40	1,77	4,4	265	A

On constate que, pour cet ordre de grandeur de q , V_4 augmente lorsque Q_m diminue.

b) pour des ensembles de valeurs f , Q_m , q correspondant à des régimes forts, valeurs des temps t_2

et t_4 au bout desquels on observe 2 et 4 % à la sortie du régénérateur et des volumes V_2 et V_4 de CO_2 absorbés au bout des temps t_2 et t_4 (Tableau XXXVI).

TABLEAU XXXVI.

f	Q_m litres/min	q litres/min	$\frac{q}{Q_m} \times 100$	t_2 min	V_2 litres	t_4 min	V_4 litres	Chaux sodée
60	152	3,50	2,65	50	175	60	210	A
48	122,5	2,55	2,08	50	76	68	175	A
36	105	3,70	3,5	45	166	53	196	A
24	90	3,50	5,9	47	164	56	196	A
24	80	3,50	4,4	47	164	58	203	A
24	80,5	2,41	5	60	145	85	200	A
24	57,5	2,9	5	40	116	80	232	B
24	57,5	2,9	5	50	145	68	197	A
12	57,5	2,9	5	40	116	80	232	B
12	57,5	2,9	5	50	145	68	197	A
24	40	2	5	90	180	108	216	A
24	40	2	5	100	200	110	220	A
12	40	2	5	110	220	150	260	B
12	40	2	5	80	160	100	200	A

Pour des valeurs élevées de q , Q_m n'a pas d'influence sur V_4 .

Le régénérateur à chaux sodée permet, pendant 2 h 30 min, un travail continu correspondant à une consommation d'oxygène de 1,7 litre/min et à un débit respiratoire moyen de 40 litres/min ou, pendant près d'une heure, un travail intense nécessitant une consommation d'oxygène de 3,5 litres/min et un débit respiratoire de 100 litres/min.

Composition de l'air : azote et oxygène.

La teneur en azote de l'air du sac ne peut devenir notable que pour des consommations prolongées en oxygène très voisines du débit fourni par le gicleur. Pratiquement, l'appareil Fenzy-56 n'introduit pas de risque dû à l'azote.

La teneur en oxygène est au contraire normalement très élevée, mais la respiration de l'oxygène pur, à la pression atmosphérique, pendant plusieurs heures n'est pas dangereuse. Si certaines opérations exigeaient le port répété de l'appareil sur de longues périodes, il y aurait lieu de soumettre les sauveteurs à des visites médicales.

Étanchéité de l'appareil.

L'étanchéité du circuit respiratoire est soignée, notamment en ce qui concerne la fermeture de la soupape de purge. Par ailleurs, le débit généralement surabondant d'oxygène établit à l'intérieur de l'appareil une légère surpression s'opposant à toute rentrée d'air extérieur.

Air offert à la respiration.

Le développement possible du sac respiratoire est de 5 litres. Ce volume est suffisant pour éviter

l'accolement du sac, à condition que l'aspiration ait lieu à partir d'un sac gonflé. Si cette circonstance est réalisée une fois, ce qu'on obtient en restant au repos pendant les 2-3 premières minutes du port de l'appareil, elle le demeure constamment par la suite.

Le débit d'air induit par l'injecteur à oxygène est du même ordre de grandeur que le débit moyen aspiré par un porteur effectuant un travail normal (35 litres/min au début de l'utilisation et 22 litres/min à la fin).

Les expérimentateurs ont cherché à déterminer la résistance à l'inspiration et à l'expiration pour différents débits. Ils ont opéré en courant continu et tirent de leurs mesures les conclusions suivantes. La résistance maxima à l'inspiration est du même ordre qu'à l'expiration ; elle peut atteindre 20 mm d'eau en régime exceptionnel, mais se situe normalement autour de 10 mm d'eau.

Les déterminations en courant continu permettent d'évaluer le recyclage. Celui-ci ne pourrait se présenter que dans le cas où l'on effectuerait un travail lourd pendant la dernière minute d'utilisation de l'appareil.

Conclusions générales.

La facilité d'adaptation du sauveteur au port de l'appareil Fenzy-56 est telle que cette adaptation est immédiate. Le mécanisme est extrêmement simple. Ce sont là deux des principales caractéristiques de cet appareil, la deuxième constituant un gage extrêmement important de sa sécurité.

L'expérience acquise avec les filtres à oxyde de carbone type « Selbstretter » dans l'Industrie Minière de la Ruhr

par C. VON HOFF (23)

Plus de six années se sont écoulées depuis l'introduction du premier filtre à CO type « Selbstretter » dans les mines allemandes. De la fin de 1949 au milieu de 1952, dix mines désignées dès le début ont été complètement équipées. Mais entre-temps, d'autres mines avaient décidé de mettre ce matériel à la disposition de leurs ouvriers et, sur les instances de la D.K.B.L. (Deutsche Kohlenbergbau Leitung), l'équipement a évolué de la manière suivante.

Sur 517.000 mineurs du fond, la protection par appareils de ce type portait sur

46.000	ouvriers	à la fin de	1952
80.000	»	»	1953
125.000	»	»	1954
175.000	»	»	1955
215.000	»	en juin	1956

Cinquante mille nouveaux appareils sont commandés et seront fournis à bref délai. L'objectif fixé aux mines de la Ruhr par le Steinkohlenbergbauverein sera alors atteint : pourvoir, aussitôt que possible, chaque personne du fond dans toutes les mines d'un filtre à oxyde de carbone Selbstretter.

(23) Communication n° 42 de la « Hauptstelle für das Grubenrettungswesen beim Steinkohlenbergbauverein », Essen, Allemagne.

L'expérience acquise dans ce domaine montre qu'on ne peut compter sur un succès complet, en cas d'accident, que si chaque membre du personnel du fond reçoit un appareil Selbretter avant de descendre, qu'il le porte sur lui jusqu'au chantier et le garde toujours à sa portée. Les personnes n'ayant pas de lieu de travail fixe doivent être tenues de conserver leur appareil sur elles.

En ce qui concerne l'organisation de la distribution, l'auteur déconseille l'emmagasinage au fond. Les appareils sont mis en dépôt à la surface (figures 42 et 43). Ils sont numérotés ou bien pourvus d'une serrure magnétique.



Fig. 42. — Distribution des filtres à CO₂, type « Selbretter » numérotés.



Fig. 43. — Distribution des filtres à CO₂, type « Selbretter » à serrure magnétique soudée.

Dans le premier cas, ils sont distribués aux ouvriers contre remise par ceux-ci d'un jeton portant le numéro correspondant à celui de l'appareil. Il faut un nombre d'appareils au moins égal au nombre d'ouvriers.

La serrure magnétique permet le self-service, ainsi que la réduction du nombre d'appareils nécessaires, en ce sens que les mêmes appareils peuvent être uti-

lisés, un jour, par l'équipe du matin et l'équipe de nuit et, le lendemain, par l'équipe d'après-midi. Après avoir reçu sa lampe, l'ouvrier prend un appareil Selbretter quelconque et introduit dans la serrure un jeton spécial portant son numéro. Ce jeton ne peut être retiré qu'après la remonte, par le préposé à l'entretien. Un tiers environ des appareils en usage dans la Ruhr sont du type à serrure magnétique.

En collaboration avec le Service des Mines, la Centrale de Sauvetage a élaboré des « Directives concernant l'emploi, l'entretien et le contrôle des filtres à CO₂ ».

L'auteur en donne les principales prescriptions.

Avant l'introduction des appareils dans une mine, quelques membres du personnel du fond doivent être instruits du maniement des filtres à la Centrale de Sauvetage.

Dans chaque mine, un homme compétent est chargé de l'organisation du service des appareils « Selbretter ». Il doit s'assurer notamment de l'entretien et du contrôle et veiller à ce que chaque ouvrier se munisse d'un appareil pour descendre. Il est responsable de l'instruction du personnel.

L'entretien et le contrôle sont assurés par un ouvrier mécanicien uniquement chargé de ce travail. Cet ouvrier est assisté par trois aides chargés de la surveillance des sorties et des rentrées et du nettoyage aux différents postes. Ce personnel est directement responsable envers le chef de service.

Ce dernier dispose d'un certain nombre de surveillants, ceux qui ont été préalablement instruits à la Centrale de Sauvetage, pour donner l'instruction fondamentale et ultérieure à tout le personnel. Pour compléter et entretenir cette instruction, un film de courte durée est projeté plusieurs fois afin de permettre aux ouvriers de se familiariser avec l'emploi correct du Selbretter.

Le personnel nouveau ne peut descendre qu'après avoir été mis soigneusement au courant du fonctionnement et de l'utilisation de ces filtres. Cette instruction est assurée en principe par l'ingénieur du service de l'enseignement technique ou ses adjoints.

L'auteur rapporte ensuite quelques cas où les appareils se sont montrés d'une nécessité incontestable.

Shamrock 1/2 — 31 mai - 1^{er} juin 1954. — Un incendie se déclare dans le bouveau principal du 7^e étage. Les gaz d'incendie descendent par un puits intérieur situé à 900 m de l'incendie et gagnent une galerie en creusement où travaillent cinq ouvriers. Ceux-ci, incommodés, se munissent de leur appareil, se font remonter au 7^e étage par le puits intérieur et, accompagnés ensuite du machiniste, regagnent le puits d'entrée d'air contre un courant de fumées très épaisses. Ils passent à l'endroit de l'incendie qui, entretemps, avait été attaqué et éteint.

Walsum — 20 janvier 1955. — Une courroie en caoutchouc prend feu au point de déversement dans un descenseur hélicoïdal desservant deux chantiers. Le porion fait évacuer les chantiers, tout en organisant les travaux de sauvetage. Tous les ouvriers, au nombre de 36, peuvent regagner l'air frais grâce à leurs appareils qui, tous, ont fonctionné d'une manière irréprochable.

Dahlbusch — 3 août 1955. — Un incendie allumé près d'un puits par un coup de grisou, s'étend très rapidement au puits et ne peut être éteint. Les travaux de sauvetage doivent même être arrêtés avant que la reprise des victimes ne soit terminée. Sur 100 personnes, 58 peuvent être sauvées. Parmi celles-ci, 16 doivent certainement la vie à leurs appareils et 8 autres très probablement.

Certaines péripéties des opérations de sauvetage méritent d'être rapportées.

Treize mineurs étaient descendus sans appareil. Parmi eux, un seul a pu se sauver par ses propres moyens, trois ont pu être sauvés vivants, mais sans connaissance et les autres sont morts. Il a été établi que deux au moins d'entre ces derniers auraient pu se sauver s'ils avaient été porteurs d'un appareil.

Deux machinistes de puits intérieurs ont pu, grâce à leurs appareils, rester à leur poste (l'un pendant trois quarts d'heure), avant d'être relevés par un sauveteur. Ils ont ainsi descendu plusieurs cordées de personnel de l'étage sinistré à l'étage inférieur : certains ouvriers étaient dans un état qui ne leur aurait pas permis de descendre par les échelles.

Un abatteur, aidé successivement par six autres ouvriers, a sauvé 15 personnes incommodées, brûlées ou même déjà sans connaissance en allant les chercher dans les fumées et en les transportant ou

en les aidant à parcourir le trajet jusqu'à l'étage inférieur. Deux ouvriers, déjà parvenus à l'air frais, sont retournés dans une taille et en ont ramené un de leur compagnon qui avait perdu connaissance.

Neumühl — 5 janvier 1956. — Un incendie se déclare, à l'occasion d'une réparation du guidonage, dans une ancienne recette et s'étend rapidement au revêtement du puits. Les 600 ouvriers remontent par deux puits de retour très éloignés du puits d'entrée d'air : 152 mineurs travaillant dans les chantiers infestés par les fumées font usage d'appareils, tandis que 115 autres ne s'en servent pas. Les appareils étaient ici stockés au fond à proximité des lieux de travail.

Schlägel und Eisen — 13 avril 1956 — Un court-circuit au contacteur d'un convoyeur blindé allume un incendie dans la voie de base d'une taille. Les 21 personnes occupées sur le retour d'air du sinistre peuvent gagner l'air frais grâce aux filtres à CO. L'une d'entre elles, dont l'appareil était suspendu près du contacteur, doit se sauver sans filtre. Après avoir parcouru 300 mètres, cet ouvrier doit s'arrêter et ne pourrait continuer si l'un de ses compagnons ne lui passait son propre appareil.

L'expérience prouve donc que le filtre à CO peut sauver la vie des ouvriers ou les protéger d'une intoxication toujours grave.

L'auteur en conclut que l'équipement en appareils doit être complété et l'instruction intensifiée et que les recherches techniques doivent se poursuivre en vue d'arriver à une efficacité et une simplicité plus grandes.

(à suivre)