ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DES VÊTEMENTS DE PROTECTION DANS UNE ATMOSPHÈRE CONTAMINÉE AU TRITIUM

François BILLARD et André CHARAMATHIEU *

(Manuscrit reçu le 12 janvier 1968)

RÉSUMÉ

L'étude décrite dans ce mémoire avait pour but de déterminer l'efficacité, vis-à-vis du tritium, des vêtements de protection disponibles en France.

Seule une étude en vraie grandeur réalisée sur des scaphandres de série pouvait permettre de préciser l'influence sur leur efficacité, de la nature du matériau utilisé pour leur confection, de la configuration du vêtement et du taux de renouvellement dans le vêtement.

Un certain nombre de conclusions ont pu être tirées des mesures qui ont été faites.

1 - DESCRIPTION DES ESSAIS

1.1 - Neuf types de scaphandres ont été essayés. Huit habillaient des mannequins, le neuvième était incorporé, dans un premier groupe d'essais, à l'équipement du caisson et, de ce fait, a été testé par mise en communication de son sas avec la chambre d'expérimentation, le scaphandre étant en place sur sa bride support, casque connecté, et dans un deuxième temps ce scaphandre a été aussi monté sur un mannequin.

Les scaphandres suivants ont été essayés :

- Le scaphandre n° 1, « Plastunion », en deux parties soudées, muni d'un réseau pour la répartition de l'air, l'évacuation se faisant par un filtre à air.
- Le scaphandre n° 2, « Comasec type A », en une seule pièce non étanche, prévu pour être porté par un homme équipé d'un appareil autonome, l'évacuation se faisant par un filtre à air.
- Le scaphandre n° 3, « Comasec Scaphair », en deux parties, muni d'un réseau pour la répartition de l'air, l'évacuation se faisant par les fuites naturelles.
- Le scaphandre n° 4, « Comasec type B », en une seule pièce, étanche et muni d'un réseau pour la répartition de l'air, l'évacuation se faisant par soupapes.

* Service Technique d'Etudes de Protection - Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, B.P. n° 6, 92 - Fontenay-aux-Roses.

FIG. 1. — Scaphandres n°s 1, 2 et 3.

- Le scaphandre n° 5, « Comasec Incendie », en trois parties, non étanche, l'évacuation se faisant par les fuites naturelles.
- Le scaphandre n° 6, « Scalhène », en une seule pièce, étanche et muni d'un réseau, pour la répartition de l'air, l'évacuation se faisant par extraction à l'aide d'un éjecteur à air comprimé.
- Les scaphandres n°s 7 et 8, en une seule pièce, étanches et munis d'un réseau

pour la répartition de l'air (équipements « P.I.M. »), l'évacuation de l'air se faisant par soupapes.

- Le scaphandre n° 9, « V.T.M. », en une seule pièce, étanche et muni d'un réseau pour la répartition de l'air, l'évacuation de l'air se faisant par soupapes.

1.2 - Des mannequins, revêtus des scaphandres à essayer, ont été placés dans un caisson d'expérimentation de 66 m³. L'étanchéité du caisson avait été préalablement contrôlée en dépression (taux de fuite de 3 mm d'eau par heure pour une dépression initiale de 100 mm), en surpression (taux de fuite du même ordre de grandeur pour une surpression initiale de 500 mm d'eau) et, enfin, en équilibre de pression par un essai de fuite de krypton (aucune décroissance décelée en 24 heures).

Sur la face latérale du caisson était disposé un « briseur d'ampoule », commandé de l'extérieur, et sur la face avant, un faisceau de tubes permettant d'alimenter en air frais les scaphandres et d'effectuer des prélèvements aux fins de mesure à l'intérieur de chacun d'eux.

L'air d'alimentation des scaphandres était rejeté dans la chambre d'expérimentation. En conséquence, afin de ne pas la mettre en surpression, la vanne d'extraction de la chambre était maintenue ouverte, ce qui entraînait la décroissance de l'activité dans le caisson pendant la manipulation.

Deux ventilateurs de brassage étaient fixés au plafond de la chambre.

1.3 - Le contrôle d'efficacité des scaphandres a été réalisé dans des atmosphères contaminées au tritium gaz, l'eau tritiée présente provenant uniquement de l'échange isotopique avec la vapeur d'eau de l'air du caisson.

Des ampoules d'activités différentes ont été brisées dans le caisson, ce qui a donné les activités spécifiques maximales suivantes :

Ampoules	Activités spécifiques
100 mCi	$1,5 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^3$
500 mCi	$7,5 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^3$
1 Ci	$1,5 \cdot 10^{-2} \mu\text{Ci/cm}^3$
10 Ci	$1,5 \cdot 10^{-1} \mu\text{Ci/cm}^3$
100 Ci	$15 \mu\text{Ci/cm}^3$

L'activité spécifique en tritium dans le caisson, mesurée en continu au moyen d'une chambre d'ionisation à circulation, décroissait pendant l'essai comme indiqué précédemment, en raison de la dilution de l'atmosphère du caisson par le rejet des scaphandres.

Si l'on tient compte du retard introduit par le volume important de la chambre d'ionisation, on vérifie que la décroissance observée suit une loi exponentielle, traduisant l'homogénéité de la contamination en tritium dans le caisson et dont la période T est donnée par la formule :

$$T = 0,693 \frac{V}{Q}$$

V étant le volume du caisson et Q le débit d'air des scaphandres.

La valeur mesurée de la concentration initiale en tritium est en bonne concordance avec la valeur déduite de l'activité de l'ampoule brisée pour l'essai.

La mesure de l'efficacité des scaphandres a été effectuée en fonction du débit d'alimentation en air frais. Les débits suivants ont été utilisés : 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150 et 200 l/mn.

En outre, au début de certains essais, aussitôt après la rupture de l'ampoule de tritium, on a enregistré la croissance de l'activité spécifique à l'intérieur de certains des scaphandres essayés et déterminé ainsi le temps nécessaire pour que l'activité spécifique d'équilibre soit atteinte dans ces scaphandres ventilés à un débit donné.

1.4 - Les mesures de l'activité spécifique dans le caisson et de l'activité spécifique dans les scaphandres ont été faites à l'aide de deux appareils de mesure à chambres d'ionisation différentielles, le premier étant un modèle expérimental réalisé par le C.E.A. et le deuxième un prototype industriel fabriqué par la C.d.C. à partir du modèle C.E.A..

2 - RÉSULTATS

L'efficacité d'un scaphandre est définie comme le rapport de l'activité spécifique à l'équilibre dans le scaphandre à l'activité spécifique dans le caisson au même instant.

2.1 - Une telle définition implique qu'à l'équilibre l'activité spécifique en tritium soit constante en tout point à l'intérieur du scaphandre, ce qui exige une alimentation en air frais parfaitement distribuée dans tout le scaphandre. Si u est le débit de la ventilation du scaphandre et E l'efficacité du scaphandre, on peut alors écrire (voir Annexe) :

$$E = \frac{u}{\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)}}$$

α et β sont des constantes indépendantes du volume intérieur du scaphandre et $f(u)$ est une fonction positive croissante de u qui s'annule pour $u = 0$ et tend vers l'infini lorsque u tend vers l'infini.

Le terme $\beta/(1 + f(u))$ caractérise les fuites du scaphandre : si le scaphandre est étanche par construction, $\beta = 0$; si le débit est tel que le scaphandre assure un confinement dynamique efficace, c'est-à-dire que la vitesse de l'air par les fuites dépasse la vitesse limite de rétrodiffusion du tritium, soit 1,2 m/s environ d'après les résultats d'une autre étude [12], $\beta/(1 + f(u))$ est négligeable devant α . Dans les deux cas, on peut alors écrire $E \simeq u/\alpha$ et définir une efficacité spécifique η , c'est-à-dire une efficacité par unité de débit de ventilation, telle que $\eta = 1/\alpha$.

Mais dans beaucoup de scaphandres, l'alimentation en air frais est distribuée de façon très hétérogène, si bien que l'activité spécifique en tritium varie à l'intérieur du scaphandre. Il n'est donc plus possible de définir une efficacité générale E ou une efficacité spécifique η du scaphandre. C'est pourquoi dans tous les cas, le point de prélèvement a été placé aussi près que possible de la bouche du mannequin, ce qui a permis de déterminer une efficacité E_R au niveau des voies respi-

ratoires. En outre, dans les scaphandres N^{os} 1 et 4, grâce à des prises de prélèvement supplémentaires, on a pu déterminer des efficacités E_P et E_J au niveau de la poitrine et au niveau des jambes.

L'efficacité E_R (voir Annexe) est donnée par l'équation :

$$E_R = \frac{\alpha}{\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)}} [1 + g(u)].$$

La fonction $g(u)$, qui s'annule pour $u = 0$ et tend vers l'infini lorsque u tend vers l'infini, caractérise la distribution d'air frais.

Lorsque u est suffisamment grand, $g(u)$ est grand devant 1 et l'on peut écrire

$$E_R \simeq \frac{u}{\alpha} g(u) \simeq K u^n \text{ avec } n > 1.$$

Les considérations qui précèdent montrent que l'efficacité d'un scaphandre est fonction de son débit de ventilation u et non du taux de renouvellement d'air à l'intérieur du scaphandre. Nous avons donc tracé en coordonnées logarithmiques, sur les graphiques N^{os} 1 à 7, les courbes donnant l'efficacité E_R et éventuellement les efficacités E_P et E_J , en fonction du débit de ventilation, pour chaque scaphandre essayé. La dispersion des points expérimentaux s'explique en partie par les erreurs dues au mode de prélèvement.

2.2 - Au vu du graphique n^o 1, on constate que la courbe du scaphandre n^o 1 est approximativement rectiligne et de pente 1, c'est-à-dire que l'efficacité E_R suit une loi $E = u/\alpha$; donc la constante de fuite β et la fonction de distribution $g(u)$ sont nulles, ce qui signifie d'une part que le scaphandre est étanche et que le tritium pénètre dans le scaphandre uniquement par diffusion à travers le tissu, d'autre part que la distribution en air frais est telle que la concentration en tritium est uniforme à l'intérieur du scaphandre. Ceci a été vérifié par la mesure des efficacités au niveau de la poitrine et des jambes, les valeurs obtenues pour E_P et E_J restant dans les limites de dispersion des valeurs de E_R . Le scaphandre n^o 1 assure donc la même protection pour toute partie du corps; son efficacité spécifique η est de 6 000 s/l.

2.3 - La courbe du scaphandre n^o 4 (graphique n^o 2) est approximativement rectiligne et de pente 1,5, c'est-à-dire que l'efficacité E_R suit une loi $E_R = K u^{1,5}$; donc la constante de fuite β est nulle et la fonction de distribution $g(u)$ est proportionnelle à $\sqrt{u}$, ce qui signifie que le scaphandre est étanche mais que l'air frais est distribué préférentiellement dans la zone respiratoire. Cette déduction est confirmée par les mesures d'efficacité E_P et E_J au niveau de la poitrine et des jambes, environ trois fois plus faibles que les mesures correspondantes de E_R .

2.4 - Les courbes des scaphandres n^{os} 2, 3 et 5 (graphique n^o 3) ne sont plus rectilignes; la pente de leur tangente croît depuis 1 jusqu'à 2, ou un peu plus de 2, lorsque u croît depuis 5 l/mn jusqu'à 30 l/mn, ce qui signifie qu'une entrée de tritium se produit par les fuites de ces scaphandres et que l'air frais est distribué préférentiellement au niveau des voies respiratoires. L'efficacité générale est donc inférieure à l'efficacité mesurée qui ne dépasse pas 1 000 pour un débit de 30 l/mn.

2.5 - Pour le scaphandre n° 6 un premier essai effectué sur un vêtement neuf à un débit de 30 l/mn avait donné une efficacité de 16 000. Au cours d'essais ultérieurs sur le même scaphandre, utilisé entre-temps une vingtaine de fois, des valeurs très inférieures ont été obtenues. Nous avons constaté l'apparition de microtrous au niveau des soudures, due aux effets d'arrachement lors des introductions dans le vêtement. Une observation identique a été faite sur un autre scaphandre de même type, n° 6 bis. Le constructeur a depuis renforcé les soudures afin de pallier cet inconvénient. Il n'a pas été possible d'effectuer des essais sur le vêtement ainsi amélioré.

Les courbes des scaphandres n°s 6 et 6 bis usagés (graphique n° 4) sont approximativement rectilignes et de pente 1, c'est-à-dire que l'efficacité suit une loi $E = K u$; donc la constante de fuite β et la fonction de distribution $g(u)$ sont nulles, ce qui signifie d'une part que les scaphandres sont relativement étanches et que le tritium pénètre par diffusion à travers le tissu et les microtrous, d'autre part que la distribution en air frais est telle que la concentration en tritium est uniforme à l'intérieur. Leurs efficacités spécifiques η sont respectivement de 1 000 et 1 500.

2.6 - Les scaphandres n°s 7 et 8, en une seule pièce, étaient à l'origine équipés de 6 soupapes de sortie d'air. Sur le graphique n° 5, les points correspondants se placent sur une même courbe, dont la pente, dans le domaine exploré, est approximativement de 1,5. ce qui montre que l'air frais est distribué préférentiellement dans la zone respiratoire; l'efficacité E_R à 30 l/mn ne dépasse pas 150, valeur faible qui laisse suspecter des rétrodiffusions de tritium aux soupapes.

C'est pourquoi on a tenté d'améliorer l'efficacité du scaphandre n° 7 en apportant les modifications successives suivantes :

- obturation de 4 soupapes sur 6,
- substitution d'un rejet par cartouche filtrante au rejet par soupapes,
- obturation des soupapes et extraction par flexible et trompe à air.

Les résultats ainsi obtenus, reportés sur le graphique n° 5, permettent de tracer une seule courbe, correspondant à une efficacité E_R supérieure d'un facteur 2 environ à celle du scaphandre à 6 soupapes; cette courbe n'est pas rectiligne et sa pente croît de 1 à 2 lorsque le débit croît de 10 à 100 l/mn, ce qui confirme que l'air frais est distribué préférentiellement dans la zone respiratoire et que le système d'évacuation d'air à six soupapes laisse pénétrer du tritium.

2.7 - La courbe du scaphandre n° 9 (graphique n° 6) est rectiligne et de pente 1, c'est-à-dire que l'efficacité suit une loi $E = K u$; donc la constante de fuite β et la fonction de distribution $g(u)$ sont nulles, ce qui signifie d'une part que le scaphandre est étanche et que le tritium pénètre dans le scaphandre uniquement par diffusion à travers le tissu, d'autre part que la distribution en air frais est telle que la concentration en tritium est uniforme à l'intérieur du scaphandre. Son efficacité spécifique η est égale à 700.

2.8 - Tous ces résultats ont été obtenus avec des scaphandres au repos habitant des mannequins. Pour l'utilisation pratique, deux effets viennent perturber la ventilation interne des scaphandres :

- la respiration de l'utilisateur,
- les mouvements de grande amplitude de l'utilisateur (effet de soufflet).

Afin de simuler les effets dus à la respiration, nous avons placé à l'intérieur du mannequin portant le scaphandre n° 4, un poumon artificiel (commutateur fluide construit par la Société Bertin). Le graphique n° 2 montre que les effets dus à la respiration diminuent l'efficacité d'un facteur 3 à 4, quel que soit le débit de ventilation dans le domaine exploré.

Afin de déterminer l'influence des mouvements de l'utilisateur sur l'efficacité d'un scaphandre, deux essais ont été effectués :

- sur le scaphandre n° 6 à l'état neuf, dont l'efficacité a été de nouveau trouvée au moins égale à 16 000, ce qui n'a pas permis de déceler une baisse d'efficacité;
- sur le scaphandre n° 9, ventilé à grand débit (200 l/mn); tant que l'utilisateur est resté immobile, l'efficacité s'est maintenue à 3 900; après un seul mouvement de grande amplitude, l'efficacité s'est abaissée à 3 500, puis, après trois mouvements, à 3 100 et enfin, après 20 mouvements, à 2 000.

2.9 - Le principe de la combinaison humide a été essayé sur le scaphandre n° 8. Cette combinaison se compose d'une cagoule et d'un pantalon en tissu éponge enfilés par dessus le scaphandre après avoir été humidifiés, et d'un ensemble cagoule et pantalon en vinyle de 5/100 de mm d'épaisseur qui recouvre le tout. Cette combinaison humide augmente d'un facteur 2 l'efficacité du scaphandre (graphique n° 7), mais ce gain d'efficacité, dû à l'échange isotopique dans la combinaison entre le tritium et l'eau contenu dans le tissu éponge, n'est pas suffisant pour compenser les inconvénients de la contamination de la combinaison par l'eau tritiée (contamination externe importante du scaphandre, ce qui nécessite de très grandes précautions lors du déshabillage).

2.10 - Comme nous l'avons indiqué précédemment, nous avons effectué, pour certains scaphandres, la mesure du temps de mise à l'équilibre :

- Pour le scaphandre n° 9 ventilé à un débit de 200 l/mn, l'équilibre a été atteint au bout de 15 minutes.
- Pour le scaphandre n° 8 monté avec deux soupapes et ventilé à un débit de 100 l/mn, l'équilibre a été atteint au bout de 17 minutes, alors que pour le même débit, l'équilibre a été atteint en 30 minutes, le scaphandre étant monté avec une cartouche.
- Pour le scaphandre n° 5, ventilé au débit de 5 l/mn, l'équilibre a été atteint au bout de 20 minutes au niveau des voies respiratoires; on ne peut préjuger des temps correspondant aux autres parties du corps.
- Pour le scaphandre n° 4, l'équilibre a été atteint au bout de 30 minutes pour des débits de 5 l/mn, 15 l/mn et 25 l/mn.
- Pour le scaphandre n° 1, l'équilibre a été atteint au bout de 30 minutes pour un débit de 5 l/mn et au bout de 20 minutes pour un débit de 25 l/mn.

On constate donc que le temps de mise à l'équilibre, de l'ordre de 15 à 30 minutes, dépend peu du type de scaphandre et du débit auquel il est ventilé.

3 - CONCLUSIONS

Il ressort des résultats obtenus au cours de ces manipulations que l'efficacité d'un scaphandre est d'abord conditionnée par son étanchéité.

Pour obtenir une bonne étanchéité, il se révèle indispensable de réaliser le vêtement d'une seule pièce obtenue par soudures et de proscrire toutes les évacuations par soupape, filtre ou autre dispositif mettant en communication directe l'intérieur du scaphandre avec l'atmosphère contaminée.

En effet, bien qu'il ait été vérifié qu'une vitesse d'éjection d'air par les soupapes nettement supérieure à 1,2 m/s interdit toute entrée de tritium dans un scaphandre au repos, on constate que cette vitesse minimale ne peut pas être assurée lorsque l'opérateur effectue des mouvements de grande amplitude, en raison des effets de soufflet. Il faut donc utiliser des scaphandres étanches reliés par des canalisations souples à un poste d'alimentation et d'extraction d'air indépendant de l'atmosphère contaminée.

Les résultats de cette étude montrent ensuite que l'efficacité d'un tel scaphandre bien étanche est proportionnelle au débit de ventilation lorsque toutes les parties du scaphandre sont bien ventilées. On peut alors définir une efficacité spécifique, fonction de la perméabilité du tissu.

Le tableau n° 1 récapitule les caractéristiques principales des scaphandres essayés; la meilleure efficacité spécifique, obtenue avec le scaphandre n° 1, est égale à 6 000. Une étude complémentaire sur la perméabilité des tissus, qui fait l'objet d'un rapport distinct, montre qu'un gain d'un facteur 20 sur l'efficacité spécifique pourrait être obtenu grâce à l'utilisation de tissus composites de « Saran »* et de polyéthylène renforcés par une trame de nylon ou de tissus de coton imprégnés de butyle.

* Le « Saran » est un copolymère de chlorure de vinyle et de chlorure de vinylidène.

TABLEAU N° 1

Scaphandre	Type	Étanchéité	Ventilation	Caractéristiques	Efficacité aux voies respiratoires (pour 30 l/mn)	Efficacité spécifique en s/l
N° 1	Vêtement en une seule pièce, soudé	Bonne	Répartition de l'air dans le cas- que, aux mains et aux jambes	Entrée du tritium par diffusion. Air bien distribué	3 000	6 000
N° 2	Vêtement en une seule pièce avec deux fer- metures éclair.	Médiocre	Pas de répartition d'air. Arrivée unique d'air dans le dos.	Entrée du tritium par les fuites et par diffusion. Air mal distribué.	600	—
N° 3	Vêtement en deux pièces avec une sous-combi- naison.	Médiocre	Répartition d'air dans la sous- combinaison et dans le casque.	Entrée d'air par les fuites et par diffusion. Air mal distribué.	800	—
N° 4	Vêtement en une seule pièce avec une ferme- ture éclair	Bonne	Pas de répartition d'air, arrivée d'air unique au casque	Entrée d'air par diffusion seule- ment, mais air mal distribué.	4 000	—
N° 5	Vêtement en trois pièces	Médiocre	Cagoule seule ventilée.	Entrée d'air par les fuites et par diffusion, air mal distribué.	1 000	—
N° 6	Une seule pièce + cas- que étanche	Très bonne	Répartition d'air dans le casque, aux mains et aux pieds.	Entrée du tritium par diffusion seulement. Bonne distribution de l'air.	Neuf > 16 000 usagé : 500	Neuf > 32 000 usagé : 1 000
N° 6 bis	»	»	»	»	usagé : 750	usagé : 1 500
N° 7	Une seule pièce avec casque amovible.	Médiocre	Répartition de l'air dans le casque, aux mains et aux jambes.	Entrée du tritium par diffusion et par les fuites. Air mal distribué.	150	—
N° 8	Une seule pièce avec double fermeture éclair	Médiocre	Répartition de l'air dans le cas- que, aux mains et aux jambes.	Entrée du tritium par diffusion et par les fuites. Air mal distribué.	150	—
N° 9	Une seule pièce avec double fermeture éclair	Bonne	Répartition de l'air dans le cas- que, aux mains et aux jambes.	Entrée du tritium par diffusion seulement. Bonne distribution de l'air.	350	700

ANNEXE

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Supposons que l'équilibre soit réalisé dans un scaphandre dont le débit de ventilation est u , la concentration en tritium étant alors C quand la concentration dans le caisson est C_0 .

Les entrées de tritium dans le scaphandre ont deux origines :

1° Diffusion à travers le tissu du vêtement :

Soit A_T la quantité de tritium qui entre par unité de temps à travers le tissu.

$$A_T = \alpha (C_0 - C) \neq \alpha (C_0)$$

α caractérise la diffusion du tritium à travers le tissu.

2° Rétrodiffusion par les fuites d'air :

Soit A_F la quantité de tritium rétrodiffusée par unité de temps et v la vitesse de l'air par ces fuites, proportionnelle à u . On peut écrire :

$$A = \frac{\beta (C_0 - C)}{1 + \varphi(v)} \neq \frac{\beta C_0}{1 + \varphi(v)} = \frac{\beta C_0}{1 + f(u)}$$

$\varphi(v)$ et $f(u)$ étant des fonctions continues et croissantes qui s'annulent lorsque la variable s'annule et tendent vers $+\infty$ lorsque la variable tend vers $+\infty$. β caractérise les orifices de fuite et $f(u)$ la rétrodiffusion du tritium.

L'activité A_s qui sort du scaphandre par unité de temps est proportionnelle au débit u et à la concentration C :

$$A_s = C u.$$

A l'équilibre on a : $A_s = A_T + A_F$

$$C u = \alpha C_0 = \frac{\beta C_0}{1 + f(u)}$$

$$C = \frac{C_0}{u} \left(\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)} \right)$$

L'efficacité est :

$$E = \frac{C_0}{u} = \frac{u}{\left(\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)} \right)}$$

$$E = \frac{u}{\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)}}$$

S'il n'y a pas de rétrodiffusion de tritium par les fuites, $\beta = 0$ et $E = u/\alpha$.

Les calculs précédents sont fondés sur l'hypothèse que les vitesses d'air à l'intérieur du scaphandre sont suffisamment faibles pour que la concentration puisse être considérée comme constante dans tout le scaphandre. Ceci peut être approximativement réalisé si l'alimentation en air frais est répartie par un faisceau de tubulures dans l'ensemble du scaphandre.

Au contraire, si l'air d'alimentation n'est pas réparti de manière homogène dans tout le scaphandre, il se peut que les vitesses ne puissent plus être considérées comme nulles. Or, en général, l'alimentation en air frais s'effectue préférentiellement dans le casque, c'est-à-dire dans la zone respiratoire.

Si C_R est la contamination dans la zone respiratoire et C la concentration moyenne dans l'air rejeté hors du scaphandre, on peut écrire schématiquement :

$$\frac{C}{C_R} = 1 + g(u)$$

$g(u)$ étant comme $f(u)$ une fonction continue croissante qui s'annule pour $u = 0$ et tend vers $+\infty$ quand u tend vers $+\infty$.

Cette équation traduit le fait que C_R est du même ordre que C pour les faibles débits d'alimentation (vitesse de l'air négligeable devant la vitesse de diffusion du tritium) et que C_R devient négligeable devant C pour les forts débits (vitesse de diffusion négligeable devant la vitesse de l'air pur dans la zone respiratoire).

Or, on a comme précédemment :

$$C = \frac{C_0}{u} \left(\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)} \right).$$

Si E_R est l'efficacité du scaphandre au niveau des voies respiratoires de l'opérateur, on peut écrire :

$$E_R = \frac{C_0}{C_R} = \frac{u [1 + g(u)]}{\alpha + \frac{\beta}{1 + f(u)}}$$

— lorsque u tend vers 0, c'est-à-dire pour de faibles débits de ventilation du scaphandre, $f(u)$ et $g(u)$ tendent vers 0, donc :

$$E_R \rightarrow \frac{u}{\alpha + \beta},$$

— lorsque u tend vers l'infini, c'est-à-dire pour de forts débits de ventilation du scaphandre, $\beta/(1 + f(u))$ devient négligeable devant α et $g(u)$ devient grand devant 1, si bien que :

$$E_R \simeq \frac{1}{\alpha} u g(u) \sim K u^n \text{ avec } n > 1.$$

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Séminaire sur la protection contre les dangers du tritium, S.C.P.R.I., Le Vésinet, 16-18 avril 1966.
- [2] MCKOWN, D.A., Health Physics bibliography on tritium, LAMS-2946, 1963.
- [3] YANG, J.Y., INGALLS, R.B., Tritium β decay induced reactions in the polystyrene fluff, American Chemical Society Meeting, Los Angeles, 1963.
- [4] HUGHES, The permeability of neoprene and polyvinylchloride to hydrogen, deuterium and tritium, AWRE-O-17/62, 1962.
- [5] GEY, A., Tritium et eau tritiée - Durée limite d'exposition accidentelle en atmosphère stable ou renouvelée. Colloque International sur la Pollution Radioactive des Milieux Gazeux, Saclay, novembre 1963.
- [6] COOK, M.J., Personnel exposures following accidental releases, *Nuclear Safety*, 1959, 1, 2, 54-56.
- [7] OSBORNE, R.V., The effectiveness of protective clothing against tritiated water vapour, 10th An. Meeting of the Health Physics Society, 1965.
- [8] SOUDAIN, G., Contribution à la dosimétrie du tritium en présence de gaz inactifs ou actifs, Rapport CEA-R 2841, 1966.
- [9] Notice sur le doseur de tritium AME-540.003, Compagnie des Compteurs.
- [10] Rapport d'essais sur le prototype de doseur de tritium, Compagnie des Compteurs.
- [11] WERDERER, B., LE BOURDONNEC, Y., Contrôle de l'efficacité de quelques scaphandres utilisés au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, Rapport CEA-N 549.
- [12] BILLARD, F., CHARAMATHIEU, A., Vitesse de diffusion du tritium dans une veine gazeuse (à paraître).