

CONTRIBUTION A LA DÉTERMINATION DU FACTEUR DE TRANSFERT DANS L'AIR DE LA CONTAMINATION D'UN VÊTEMENT LORS DU DÉSHABILLAGE

J. SCHEIDHAUER et C. MATEVET *
(Manuscrit reçu le 31 décembre 1971)

RÉSUMÉ

Dans une usine de traitement de combustibles irradiés, les interventions mineures sont relativement fréquentes. Les travaux en milieu contaminé sont effectués avec les garanties maximales de protection contre la contamination. La prévention individuelle contre un transfert éventuel de produits radioactifs vers la peau ou l'organisme des travailleurs met classiquement en jeu des séries de tenues, éliminées successivement aux niveaux des « clapets » séparant les diverses zones. Malgré les précautions prises, des contaminations internes à très faible niveau peuvent intervenir et sont détectées à l'occasion d'analyses radiotoxicologiques. Ces valeurs très basses détectées sont difficilement reliables à une mesure par appareil de surveillance atmosphérique. Parmi d'autres origines, l'hypothèse a été faite que ces légères contaminations pouvaient provenir de transferts vers l'atmosphère à partir de vêtements contaminés lors de leur retrait. Cette opération pourrait provoquer une contamination de l'air très localisée et introduire un risque de contamination interne par inhalation.

Ce problème a déjà été étudié par divers auteurs dans des cas particuliers. Leurs études ont conduit à déterminer un facteur de remise en suspension des radionucléides souillant des vêtements et, par là, à fixer des limites admissibles pour la contamination de ces mêmes vêtements.

Nous avons voulu, dans le cadre de nos préoccupations de radioprotection, des interventions et également, à l'occasion d'une contribution à l'activité d'un groupe français de travail étudiant dans le cas général les normes de contamination tolérable, vérifier l'hypothèse formulée précédemment.

Cette vérification n'a aucune prétention et doit être considérée simplement comme un instrument de travail dans l'exercice de la protection radiologique dans une usine de traitement de combustibles irradiés.

Les essais décrits dans ce document ont tenté de se rapprocher des conditions réelles de contamination observées dans les zones où des éléments radioactifs sont mis accidentellement en liberté.

Compte tenu des activités relativement élevées et de la radiotoxicité des radionucléides mis en jeu nous avons renoncé à effectuer des déshabillages réels, c'est-à-dire, en demandant à des agents de retirer les vêtements contaminés

* Commissariat à l'Energie Atomique - Section de Protection contre les Radiations - Centre de La Hague - B.P. n° 209, 50 - Cherbourg.

dans l'enceinte d'expérience. Néanmoins, le système rustique mis au point reconstruit bien et assez sévèrement un retrait brutal d'un vêtement. L'intérêt du dispositif permet d'autre part une reproductibilité très satisfaisante des « gestes » du déshabillage d'un essai à l'autre.

Les sources de transfert sont sèches dans chaque type d'essai. Il nous a paru inutile de procéder à partir de sources humides.

I - CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE

a) *Vestiaire*

Le vestiaire est représenté par une enceinte en chlorure de polyvinyle de volume utile 29 m^3 ($3,5 \times 3,5 \times 2,5$) munie d'un double sas. La ventilation du local est assurée par une extraction dont le débit de $63 \text{ m}^3/\text{h}$ assure environ deux renouvellements horaires (fig. 1).

L'évacuation de l'air, après contrôle et prélèvement, se fait à travers un filtre absolu.

b) *Déshabillage*

Le vêtement choisi est une blouse, type laboratoire en tissu de coton ayant déjà subi plusieurs lavages. Sa surface est de $1,2 \text{ m}^2$ environ. Comme indiqué précédemment ce vêtement est placé sur un mannequin sommaire. Des dispositifs constitués par des fils rigides et des fils élastiques permettent, de l'extérieur de l'enceinte, de reconstituer à peu près les gestes principaux d'un déshabillage.

c) *Dispositifs de prélèvement*

Trois contrôles de l'expérience sont effectués :

— la contamination de l'air environnant immédiatement le mannequin est contrôlée par des appareils de prélèvement individuels. Les prélèvements sont effectués au niveau de la tête et aux quatre points cardinaux au niveau des épaules et des hanches. Neuf points sont ainsi échantillonnés (fig. 3);

— un contrôle de l'activité de l'air est effectué au niveau de l'extraction du sas par prélèvement sur filtre;

— enfin, le dépôt éventuel de contamination au sol est contrôlé par la mesure de l'activité de surfaces sèches, humides ou adhésives, disposées sous le mannequin suivant une surface circulaire de $2,40 \text{ m}$ de diamètre (fig. 2).

d) *Surfaces contaminées*

Pour se placer dans les conditions courantes de contamination de vêtement, nous avons limité la contamination à trois taches :

- au niveau des hanches, surface carrée de $0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$,
- au niveau du pan avant droit, surface carrée de $0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$,
- au niveau de la manche, surface rectangulaire de $0,20 \text{ m} \times 0,10 \text{ m}$.

La surface totale contaminée est donc de $0,2 \text{ m}^2$.

Le facteur K que nous avons déterminé est le rapport entre l'activité en curies déposée sur un vêtement représentant environ un mètre carré et celle mesurée dans l'air en curies par mètre cube dans l'environnement immédiat.

II - CONTAMINATION A PARTIR D'UNE SOURCE HUMIDE

La contamination de la blouse disposée sur le mannequin est effectuée en imbibant régulièrement les surfaces de référence par une solution de produits de fission. L'activité déposée est de 2.10^{-4} curie d'émetteurs bêta et 2.10^{-7} curie d'émetteur alpha (essentiellement du plutonium). La contamination moyenne est donc de $10^{-1} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ sur les surfaces de référence et d'environ $2.10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ramenée à la surface totale de la blouse. La blouse est ensuite abandonnée au séchage dans l'enceinte ventilée pendant 22 heures. Durant ces opérations, la contamination atmosphérique est mesurée pour correction éventuelle.

Le déshabillage simulé est alors effectué.

Le contrôle de la contamination transférée a donné les résultats suivants :

— l'activité atmosphérique moyenne mesurée pendant 22 minutes dans le voisinage immédiat du vêtement est de $2.10^{-11} \text{ Ci}/\text{m}^3$,

— le contrôle de l'air extrait pendant le même temps a donné les résultats suivants :

Pendant les vingt premières minutes une activité de l'ordre de 5.10^{-9} Ci a été évacuée, indiquant une contamination moyenne de $2.10^{-10} \text{ Ci}/\text{m}^3$.

Pendant les quarante minutes suivantes, les mesures indiquent une contamination moyenne de $10^{-10} \text{ Ci}/\text{m}^3$.

Enfin, pendant les trois cents minutes suivantes, une contamination moyenne de $10^{-11} \text{ Ci}/\text{m}^3$ est enregistrée.

Le contrôle du sol indique un dépôt maximal de $10^{-7} \text{ Ci}/\text{m}^2$.

Le facteur K de transfert sera donc, en considérant la blouse comme une surface contaminée de 1 m^2 ,

de
$$K = \frac{2.10^{-4}}{2.10^{-11}} \quad \text{ou} \quad K = 10^7$$

à
$$K = \frac{2.10^{-4}}{2.10^{-10}} \quad \text{ou} \quad K = 10^6$$

suivant les conditions de contrôle.

III - CONTAMINATION A PARTIR D'UNE SOURCE SÈCHE

La contamination de la blouse est effectuée par frottement de trois surfaces de référence identique aux précédentes, sur une plaque métallique contaminée par des produits de fission.

La contamination de la plaque a été obtenue par évaporation d'une solution contenant $204 \mu\text{Ci}$ d'un mélange de produits de fission.

Après contamination du vêtement, l'activité déposée sur ce dernier est déterminée par différence en mesurant l'activité demeurant sur la plaque.

Une activité de $1,8 \cdot 10^{-4}$ Ci est ainsi déposée sur la blouse. Après le déshabillage simulé, le contrôle atmosphérique est effectué comme pour l'essai précédent, soit 22 minutes de prélèvement atmosphérique de l'environnement du vêtement et des séquences successives de prélèvement pour l'air extrait du « vestiaire »; les résultats suivants ont été obtenus :

L'activité atmosphérique moyenne mesurée dans le voisinage immédiat du vêtement pendant 22 minutes est de $3 \cdot 10^{-10}$ Ci/m³.

L'activité totale transférée pendant les 20 premières minutes est de $6,4 \cdot 10^{-9}$ Ci avec une contamination moyenne de $3,2 \cdot 10^{-10}$ Ci/m³. Résultats en bon accord avec les appareils de prélèvements individuels.

Pendant les 40 minutes suivantes, l'activité libérée est de $5,5 \cdot 10^{-9}$ Ci, soit une contamination moyenne de $1,4 \cdot 10^{-9}$ Ci/m³. Les prélèvements effectués ensuite pendant 5 heures ont indiqué une activité de $8 \cdot 10^{-9}$ Ci, soit une contamination moyenne d'environ $3 \cdot 10^{-11}$ Ci/m³.

Le dépôt au sol a été également de l'ordre de 10^{-7} Ci/m².

Le facteur K de remise en suspension sera donc, en considérant la blouse comme une surface contaminée de 1 m² :

$$K = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-10}} \quad \text{ou} \quad K = 6 \cdot 10^5$$

IV - CONTAMINATION A PARTIR DE POUSSIÈRES

La poussière contaminée est représentée par un broyat de béton dont la fraction mise en œuvre a été sélectionnée par impacteurs à cascade. La granulométrie d'origine était de l'ordre d'une dizaine de microns; mais l'expérience a montré que des fines poussières inférieures au micron s'étaient formées lors de la contamination.

Un gramme de poussières contaminées par un mélange de produits de fission contenant une faible quantité de plutonium a été utilisé.

La contamination a été réalisée par frottement des surfaces de référence sur une plaque d'acier inoxydable sur laquelle était étalée la poussière.

Un bilan en poids et en activité de l'opération de contamination a indiqué qu'était demeuré sur la blouse :

0,52 gramme de poussière, soit 0,2 mg/cm² contenant environ $2 \cdot 10^{-4}$ Ci de produits de fission et $3 \cdot 10^{-7}$ Ci de plutonium.

Après déshabillage simulé, les résultats qui suivent ont été obtenus avec le même dispositif de contrôle que précédemment.

Après la première opération de « déshabillage » et le recueil des échantillons, un nettoyage soigné de l'enceinte et l'épuration quasi totale de l'air sont effectués sans déplacement du vêtement contaminé. Une nouvelle agitation est alors pratiquée et les mesures effectuées.

Les résultats suivants ont été obtenus :

a) *Première opération*

L'activité totale présente sur la blouse est de 2.10^{-4} Ci.

L'activité atmosphérique moyenne mesurée dans le voisinage immédiat du vêtement est de l'ordre de 2.10^{-8} Ci/m³.

L'activité totale transférée dans l'air pendant les 20 premières minutes est de l'ordre de 10^{-7} Ci, soit 5.10^{-9} Ci/m³.

Pendant les 40 minutes suivantes, on atteint un transfert dans l'air nettement inférieur à la valeur précédente.

Les mesures suivantes n'atteignent plus un degré de signification suffisant.

Ces résultats conduisent à un facteur $K \approx 10^4$ à 4.10^4 .

La réception sur les surfaces de référence (mises en place après élimination du dépôt de poussière avant l'agitation) a indiqué un dépôt au sol de l'ordre de 10^{-5} Ci/m² au maximum.

b) *Deuxième opération*

Les approximations dues à la mesure du dépôt au sol ne permettent que d'apprécier une contamination rémanente de la blouse de l'ordre de 10^{-4} Ci au moment de la seconde agitation. Dans ce cas on obtient une activité atmosphérique autour de la blouse de l'ordre de : 3.10^{-8} Ci/m³.

L'activité transférée dans l'air pendant les vingt premières minutes est de 3.10^{-7} Ci soit environ $1,5.10^{-8}$ Ci/m³.

Par la suite, le taux d'activité atmosphérique a décru rapidement à un niveau faible.

Ces résultats conduisent à $K \approx 3.10^3$ à 6.10^3 .

V - COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Les résultats obtenus peuvent être résumés ainsi :

SOURCE	ACTIVITÉ MISE EN JEU	FACTEUR K $\frac{\text{activité/m}^2}{\text{activité/m}^3}$
1° Contamination humide séchée	2.10^{-4} Ci	10^6 à 10^7
2° Contamination sèche non pulvérulente	$1,8.10^{-4}$ Ci	6.10^5
3° Contamination sèche pulvérulente		
a) Premier « déshabillage »	2.10^{-4} Ci	10^4 à 4.10^4
b) Deuxième « déshabillage »	10^{-4} Ci	3.10^3 à 6.10^3

Nous avons tenté de reconstituer les conditions de contamination les plus vraisemblables. Il faut noter cependant qu'une contamination pulvérulente du type de celle retenue par la blouse lors de la première opération avec poussière

est difficilement concevable. La deuxième opération met en jeu une contamination plus vraisemblable.

Le type de contamination à retenir comme la plus fréquente est celle du frottement sur une surface sèche contaminée conduisant à un facteur K de l'ordre de 6.10^5 . Nous avons considéré que cette contamination concernait en « moyenne » l'ensemble de la blouse ($1,2 \text{ m}^2$) et non seulement la surface contaminée effectivement ($0,2 \text{ m}^2$).

Il faut noter que les valeurs obtenues pour le facteur K de mise en suspension sont forcément approximatives comme l'ont montré les mesures.

Il faut enfin souligner que le facteur K calculé exprime un rapport entre les activités moyennes par m^2 et les activités atmosphériques par mètre cube.

Or, les limites actuellement couramment utilisées sont déterminées en appliquant la règle suivante : « La contamination des vêtements de travail, exprimée en Ci/m^2 , ne doit pas dépasser la valeur obtenue en multipliant la CMA_{40h} dans l'air, exprimée en Ci/m^3 , par 10^4 . Cependant, pour les émetteurs bêta d'énergie supérieure à 300 keV, la valeur de $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ne pourra être dépassée ».

Nous pouvons prendre comme exemple le plutonium et un mélange de produits de fission dont les concentrations maximales admissibles sont respectivement :

Plutonium : $2.10^{-12} \text{ Ci}/\text{m}^3$

Produits de fission : $3.10^{-10} \text{ Ci}/\text{m}^3$

Nous aurions donc les valeurs maximales admissibles moyennes par mètre carré suivantes en appliquant les règles actuelles et les valeurs de K déterminées :

PLUTONIUM

Règle générale	Source humide	Facteur expérimental	
		Source sèche	Source pulvérulente
$2.10^{-8} \text{ Ci}/\text{m}^2$	2.10^{-6} à $2.10^{-5} \text{ Ci}/\text{m}^2$	$1,2.10^{-6} \text{ Ci}/\text{m}^2$	$6.10^{-9} \text{ Ci}/\text{m}^2$ à $8.10^{-8} \text{ Ci}/\text{m}^2$

PRODUITS DE FISSION

Règle générale	Source humide	Facteur expérimental	
		Source sèche	Source pulvérulente
$3.10^{-6} \text{ Ci}/\text{m}^2$	3.10^{-4} à $3.10^{-3} \text{ Ci}/\text{m}^2$	$1,8.10^{-4} \text{ Ci}/\text{m}^2$	$9.10^{-7} \text{ Ci}/\text{m}^2$ à $1,2.10^{-5} \text{ Ci}/\text{m}^2$

La conclusion que nous pouvons tirer de ces résultats est que le facteur 10^4 utilisé pour déterminer des valeurs admissibles sur les vêtements à partir des CMA atmosphériques offre une garantie de sécurité appréciable. En effet, il semble s'appliquer plus précisément à des sources de contamination pulvérulente qui sont exceptionnelles avec une charge pondérable aussi élevée que celle mise en jeu.

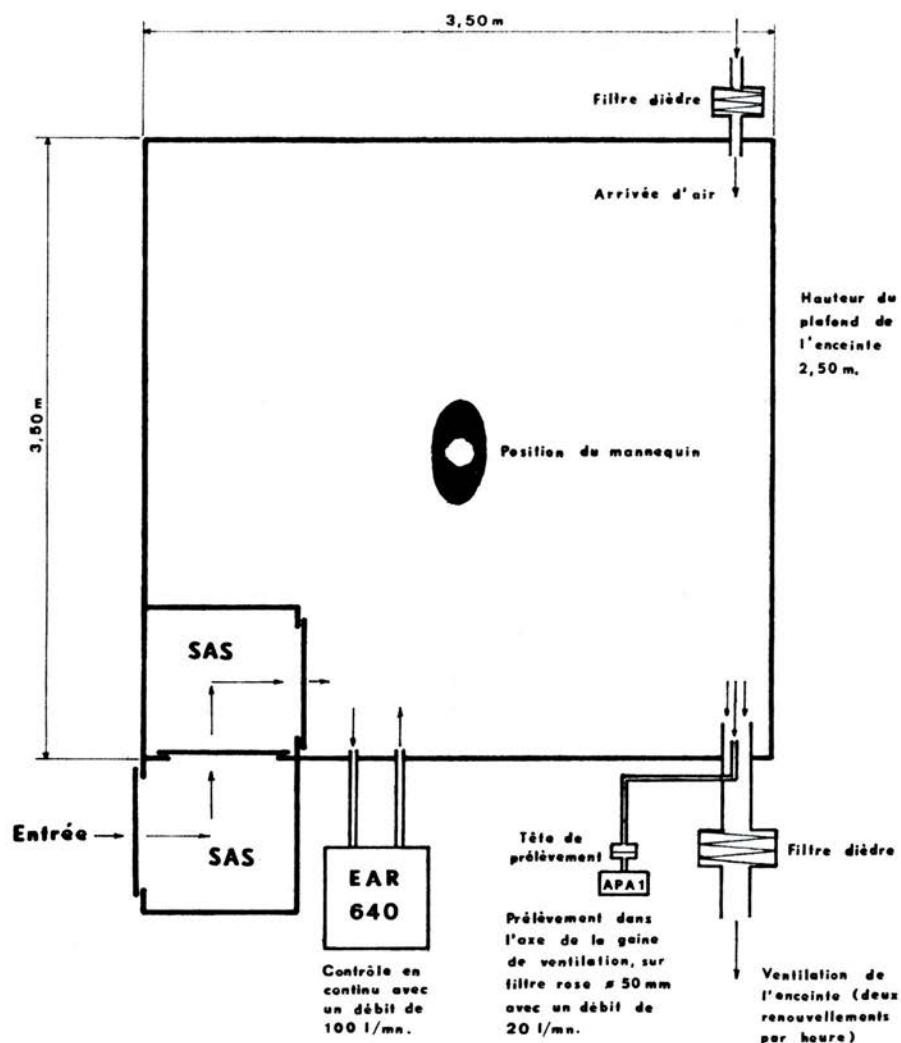
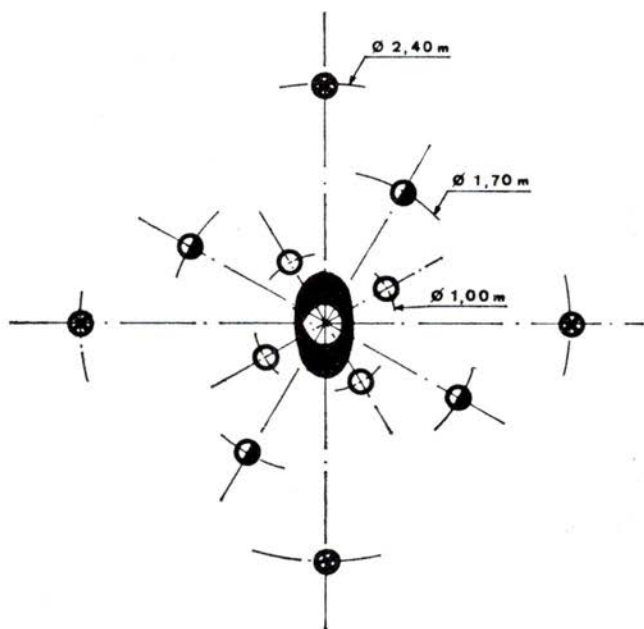
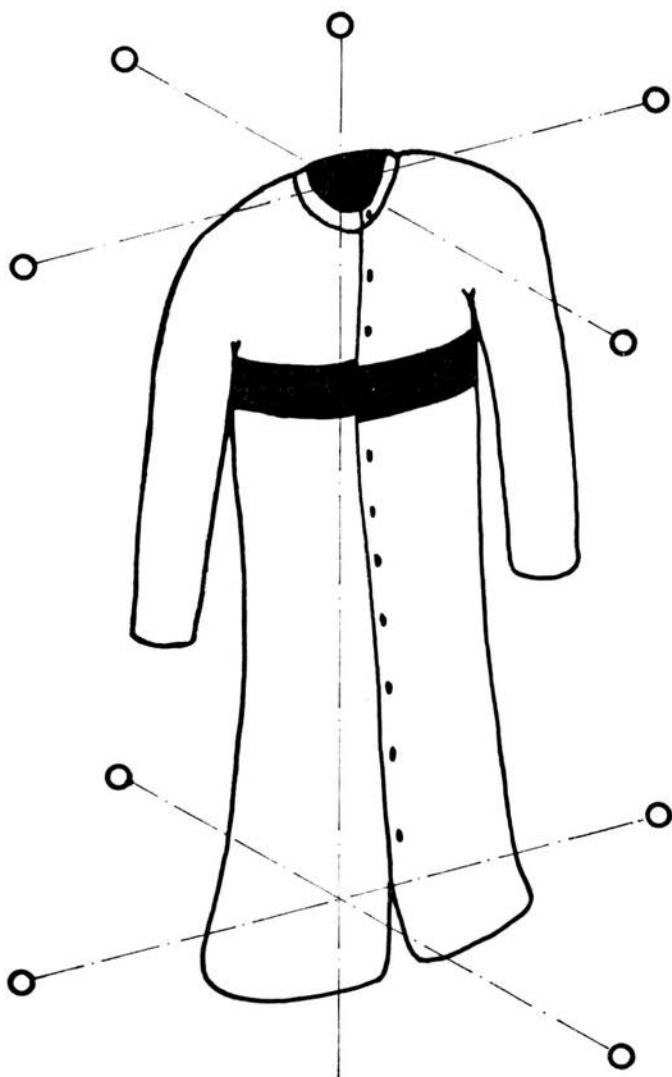


FIG. 1. — Ventilation et contrôle de l'enceinte en chlorure de polyvinyle.



- Filtre rose sec Ø 50 mm.
- Filtre rose humide Ø 50 mm.
- ⊗ Adhésif (tarlatane) Ø 50 mm.

FIG. 2. — Emplacement des récepteurs de poussières.



- **Filtere rose Ø 50mm, débit = 5 l/mn.**

FIG. 3. — Position des appareils de prélèvement individuel.