



RADIOPROTECTION CIRKUS

Document technique

Radioprotection Cirkus - 8, rue du Valois, 91940 Les Ulis - www.rpcirkus.org - contact@rpcirkus.org
Association loi 1901 créée le 9 mars 2010 - n° W913002355 - enregistrée à la sous-préfecture de Palaiseau

Titre : Éléments de ventilation et de filtration
Auteur : Marc AMMERICH
Nom du document : VentilationFiltration2010.pdf
Version et date : 2010
Résumé : Voici quelques notions sur la ventilation et la filtration. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des problèmes plus techniques. Nous avons les bonnes adresses..

Éléments de ventilation et de filtration

Marc AMMERICH

Si vous avez besoin d'éléments plus complexes ou techniques sur la ventilation et/ou la filtration, envoyez-moi un courrier électronique pour que je vous indique les personnes référentes au niveau national, à contacter.

1 CAPTAGE DE LA CONTAMINATION

La manipulation des sources radioactives dans de bonnes conditions, impose de les confiner pour éviter toute dissémination. Pour se protéger d'une contamination surfacique ou corporelle la rigueur dans l'accomplissement des manipulations est obligatoire. L'obligation de porter des gants contribue grandement à la protection des mains. Mais il est parfois difficile de réprimer des gestes réflexes. Pour se protéger de la contamination atmosphérique, le confinement à mettre en oeuvre est de type statique et/ou dynamique et doit respecter les principes suivants :

- Envelopper au plus près la zone de production de la contamination.
- Utiliser les mouvements naturels de l'air autant que possible.
(exemple : captation vers le haut si le procédé dégage de la chaleur)
- Capter avec une vitesse suffisante.
- Avoir prévu la compensation de l'air extrait.
- Avoir des rejets filtrés et des conduits à l'extérieur suffisamment dégagés au-dessus du bâtiment.

1.1 Principaux systèmes de captation de la contamination atmosphérique – enceintes de confinement

a) Le rideau d'air

Le rideau d'air est utilisé pour séparer deux régions par un obstacle immatériel et éviter la dissémination de la contamination entre les deux zones.

b) La hotte ventilée avec paillasse

C'est une enceinte de confinement dynamique dans laquelle on introduit de l'air à une vitesse importante de l'extérieur vers l'intérieur.

c) La hotte ventilée à flux dirigé

Cet équipement a le même aspect extérieur que le précédent, mais à la simple aspiration (extraction) à l'intérieur de la hotte est substitué un système associant un jet d'air plan dirigé du bord de la hotte vers l'intérieur et une aspiration de l'air contaminé.

d) La hotte à flux laminaire

Cet équipement a le même aspect extérieur que les précédents, mais c'est en fait l'objet contenant le produit radioactif qui est à protéger vis à vis de l'extérieur. On associe pour cela un rideau d'air à la hotte ventilée.

e) La boîte à gants

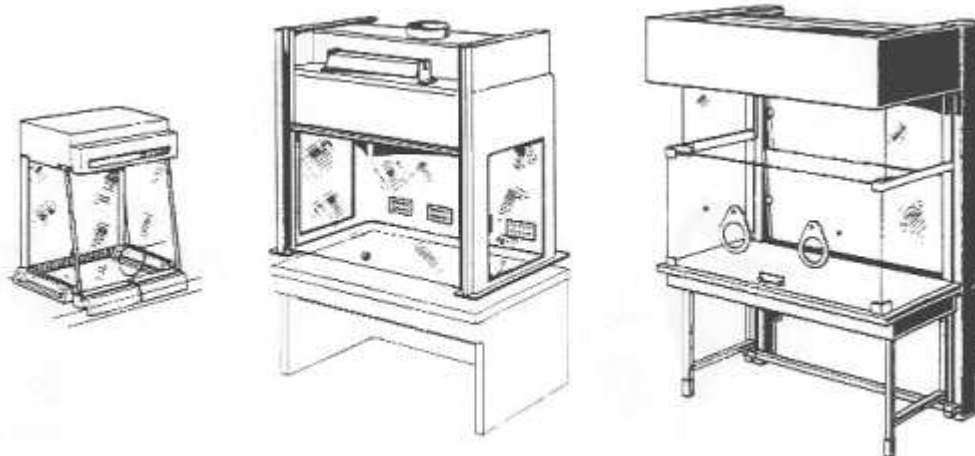
Cette enceinte de confinement isole le procédé par une barrière matérielle (avec des gants pour manipuler les produits se trouvant à l'intérieur) et un confinement dynamique mettant en général la boîte en dépression par rapport à l'extérieur.

Nous allons détailler une partie de ces procédés. Le choix du système de captation donc de l'enceinte de confinement se fait selon les critères suivants :

- Niveau d'étanchéité.
- Dispositifs de sécurité mis en place et appareillage de mesure.
- Tenue des matériaux aux agents chimiques.
- Rigidité de l'ensemble.
- Utilisation permanente ou exceptionnelle.

1.2 La hotte ventilée

Les figures ci-dessous représentent des hottes ventilées. Ces hottes sont généralement en matière plastique (PCV) avec une face avant relevable en verre ou en plexiglas (altuglas, transacryl, etc...).



Illustrations catalogue PMDS

Figure n°1 : hottes ventilées

L'aspiration se fait en partie haute grâce à un ventilateur incorporé ou par raccordement sur une gaine d'extraction et un ventilateur reporté en un point en aval, après passage sur un dispositif de filtration. Pour les hottes dont la longueur est comprise entre 1 m et 1.50 m les débits de ventilation sont compris entre 500 et 1500 m³.h⁻¹ (selon l'utilisation, avec en général un débit égal à environ 1000 m³.h⁻¹). Une filtration est ajoutée avant le rejet vers l'extérieur.

Ce qui amène à avoir des vitesses d'entrée d'air de 0.5 à 1 m.s⁻¹. La norme française 62-200 du 02/12/82 prévoit une vitesse minimum à respecter de 0.5 m.s⁻¹ pour ce type d'équipement.

L'utilisation d'une hotte ventilée nécessite quelques précautions pour assurer une bonne sécurité d'emploi. Il est nécessaire de réduire, autant que faire se peut, la section d'ouverture. En effet on ne contrôlera la vitesse de passage au niveau de l'ouverture, que si on crée une perte de charge et donc un gradient de pression entre l'extérieur et l'intérieur. Il y a en principe impossibilité d'une rétrodiffusion de la contamination.

On recommande pour cela une ouverture maximum de 40 cm de la face avant mobile.

-Il est nécessaire de ne pas perturber les écoulements d'air au niveau de l'ouverture. L'efficacité de captation des hottes est très diminuée par la présence de courants d'air latéraux qui peuvent créer de fortes turbulences et provoquer une dissémination vers l'extérieur.

- La vitesse de l'air doit être égale en tout point d'entrée. Ceci est vrai tant qu'il n'y a pas d'expérimentateur (NDLA : Mais il faut bien travailler de temps en temps). On peut dire qu'un obstacle situé à une distance équivalente à l'ouverture va perturber les écoulements, ce qui est le cas quand opère l'expérimentateur. Il convient donc de prendre les précautions suivantes afin d'éviter une contamination à l'extérieur.

- Mettre des gants, on ne le répétera jamais assez.
- Bien fermer les manches de la blouse.
- Mettre les gants par dessus si possible.
- Eviter de former un obstacle trop important au niveau de l'ouverture avec les mains

Votre équipement, placé dans un local, prélève l'air à l'intérieur de celui-ci. Il convient donc de prévoir un apport d'air équivalent. Si le lieu est clos et sans ouverture, vous risquez de mettre le local en dépression. Si vous avez d'autres équipements dans la pièce, ils risquent de se transformer en soufflage auxiliaire et induire une contamination (cas réel observé).

Prévoir une adjonction d'air venant de l'extérieur du local.

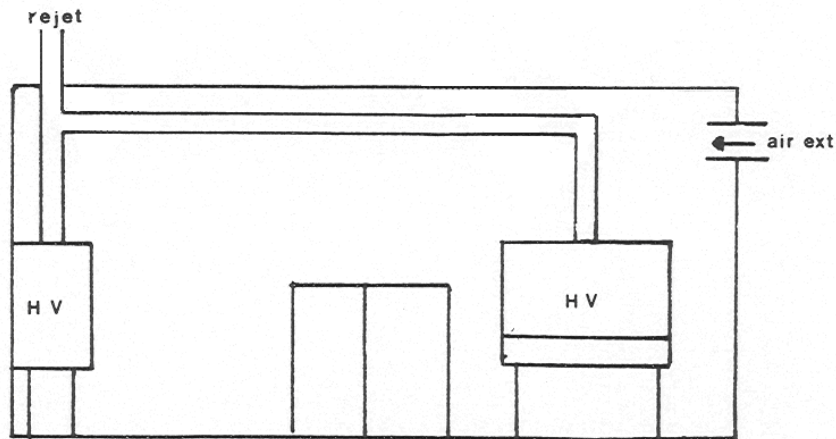


Figure n°2 : précaution d'emploi (adjonction d'air)

1.3 La hotte ventilée à flux dirigé

On met en oeuvre deux phénomènes pour éviter tout problème de contamination et assurer un bon confinement :

- soufflage d'un jet d'air permettant de créer un effet d'induction pour entraîner la contamination
- pas d'aspiration de l'air dans la pièce de travail.

Si l'on considère un écoulement d'air propre issu d'une bouche de soufflage, on est amené à constater que :

- La zone où l'air est exempt de contamination a globalement la forme d'un cône s'appuyant sur l'orifice de la bouche et dont la pointe est dans l'axe du jet.
- La zone où l'air est animé d'un mouvement dirigé par le jet a globalement la forme d'un cône s'appuyant sur l'orifice de la bouche de soufflage et s'élargissant au fur et à mesure.
- Sur les bords du jet on observe un entraînement de l'air dû à l'écoulement. C'est l'effet d'induction. Cet entraînement fait que le débit global du jet croît avec la distance.
- La portée du jet est limitée à la distance où la vitesse du jet est du même ordre de grandeur que la vitesse moyenne des turbulences de l'air.

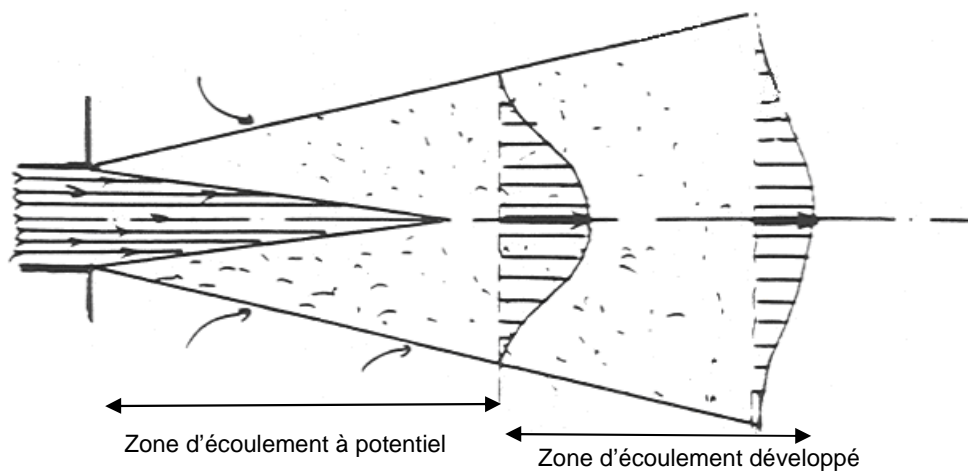


Figure n°3 : Jet d'air turbulent

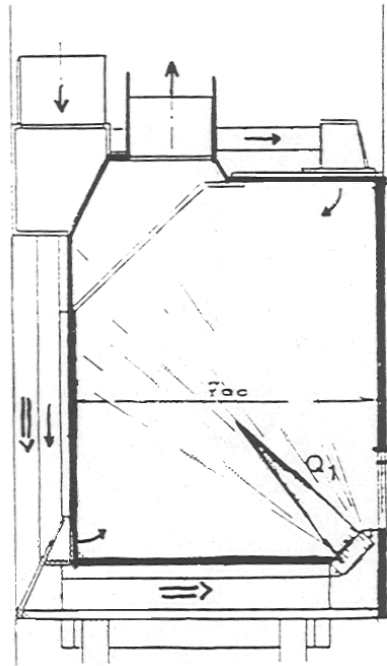


Figure n°4 : Schéma d'une hotte à flux dirigé

La hotte peut être laissée en permanence ouverte puisqu'il n'y a pas d'aspiration d'air extérieur. La vitesse de l'air au niveau de l'ouverture est très faible. Le jet plan situé au niveau de l'ouverture souffle vers le haut de la hotte et ce sur toute la longueur du plan de travail. Ce jet, ainsi que le flux induit sont extraits en partie haute. Toute contamination émise depuis le plan de travail ne peut sortir de la hotte car elle doit traverser le noyau du jet. Il en est de même pour les panaches thermiques dont la vitesse ascensionnelle n'est pas suffisante pour traverser le jet.

1.4 La hotte ventilée à flux laminaire

Ces hottes sont devenues d'usage courant dans les laboratoires de biologie, en micro-électronique et dans tous les cas où il est nécessaire de travailler en milieu propre.

Le principe mis en oeuvre est celui d'un écoulement laminaire vertical et descendant sur toute la section de la hotte. Le flux est repris et souvent recyclé après filtration. Le procédé ou le produit sur lequel on travaille est placé dans l'écoulement et donc à l'abri de toute contamination. C'est souvent l'extérieur qui est une source de contamination.

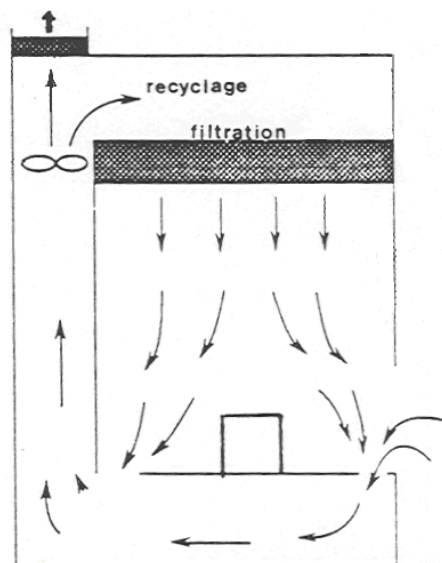
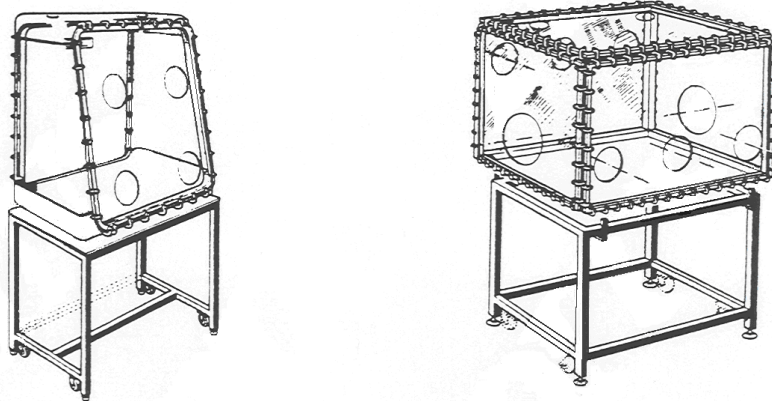


Figure n°5 : Schéma d'une hotte à flux laminaire

1.5 La boîte à gants

Ces enceintes sont utilisées lorsque le confinement devient une exigence. Les boîtes à gants ont des formes très diverses. Elles peuvent être en matière plastique ou métallique. Elles comportent au minimum un panneau transparent, être constituées par des panneaux assemblés ou être monobloc, collées ou soudées etc...

C'est le principe d'un confinement statique que l'on utilise. Mais étant donné qu'il va falloir intervenir sur le produit à l'intérieur, des ouvertures vont être nécessaires et un confinement dynamique va être adjoint.



Illustrations catalogue PMDS

Figure n°6 : Schéma de boîtes à gants

La ventilation va maintenir le dispositif en dépression, renouveler l'atmosphère interne et induire par conséquent le sens des fuites possibles de l'extérieur vers l'intérieur ($p_1 < p_0$).

En cas d'incident un dispositif de filtration permettra le piégeage de la contamination.

2 ENCEINTES DE CONFINEMENT - PARAMETRES CARACTERISTIQUES ET DISPOSITIFS DE CONTROLE

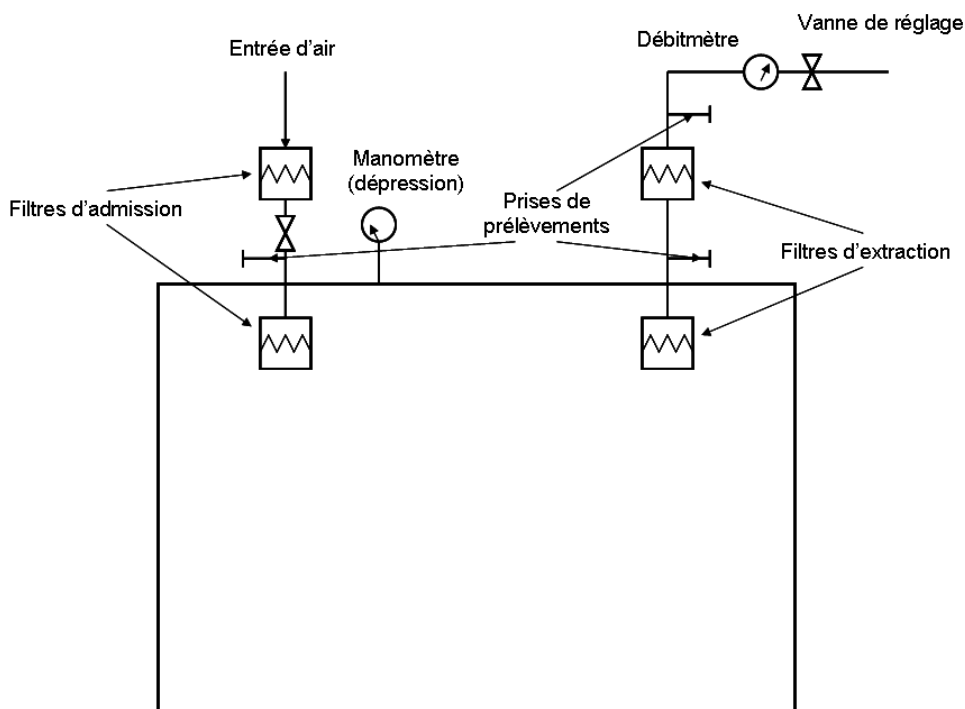


Figure n°7 : Schéma d'une enceinte de confinement é quipée

2.1 Le débit de ventilation

Si V est le volume de l'enceinte et Q le débit de ventilation, on définit le rapport Q/V comme étant le taux de renouvellement de l'air dans l'enceinte :

$$R = \frac{Q(\text{m}^3/\text{h})}{V(\text{m}^3)}$$

Le débit doit assurer un nombre suffisant de renouvellement d'air dans les conditions normales de travail. R ne doit pas être non plus trop important sous peine de voir le produit manipulé se retrouver sur les ensembles de filtration.

On choisit R compris entre 3 et 10 selon la nature physico-chimique du produit manipulé. Dans certains cas particuliers (produits très pulvérulents par exemple), le taux de renouvellement peut être plus faible (on peut avoir $R = 1$).

Q doit également assurer un débit de sécurité en cas d'une ouverture accidentelle (exemple : rupture d'un gant). La vitesse de passage de l'air minimum doit être égale à $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (même débit que pour une hotte ventilée).

2.2 La dépression

Du fait de la ventilation (généralement extraction de l'air de l'enceinte de confinement), la boîte à gants se trouve en dépression par rapport au local où elle est installée.

Ce paramètre doit faire l'objet d'une surveillance toute particulière de la part des manipulateurs, car il permet de repérer certaines anomalies de fonctionnement. L'unité S.I est le Pascal (Pa). On emploie ses multiples daPa ou hPa et encore très fréquemment d'autres unités telles que le millimètre de colonne d'eau (mmCE) et le millibar (mbar) avec les relations suivantes (relations approximées) :

$$10 \text{ Pa} = 1 \text{ daPa} = 1 \text{ mmCE}$$

$$100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ mbar} = 10 \text{ mmCE}$$

Dans des conditions normales de travail, on préconise une dépression de 10 à 20 daPa (mmCE) dans une boîte à gants. Au delà le travail devient pénible.

2.3 Le taux de fuite

C'est le rapport entre le débit de fuite horaire et le volume de l'enceinte dans les conditions normales d'utilisation.

$$T = \frac{Q_{Fh}(\text{m}^3/\text{h})}{V_{BAG}(\text{m}^3)}$$

Cette grandeur permet de classer les enceintes de confinement avec une méthode de mesure normalisée (norme NF M-60 210).

Il y a 5 classes pour les enceintes de confinement, la classe 1 correspondant à l'enceinte la plus sûre où l'on peut manipuler des produits dangereux, toxiques ou ayant une activité importante.

En ce qui concerne les laboratoires de faible et moyenne activité la classe des enceintes est comprise entre 5 et 3 (éventuellement 2). Les hottes ventilées rentrent dans la classe 5 puisque on ne peut mesurer un taux de fuite de par la conception de ce type de matériel.

Le taux de fuite des boîtes à gants permet de donner leur degré de protection.

$$\text{Si } T_f < 10 \text{ h}^{-1} \text{ enceinte de classe 4}$$

$$\text{Si } T_f < 0.1 \text{ h}^{-1} \text{ enceinte de classe 3}$$

$$\text{Si } T_f < 0.01 \text{ h}^{-1} \text{ enceinte de classe 2}$$

Nous reviendrons sur les différents contrôles à effectuer.

2.4 Les dispositifs de contrôle et de sécurité

a) Les filtres d'admission

Ces filtres protègent l'équipement ou les produits dans la boîte à gants en retenant les poussières de l'air aspiré dans le local. Ils ralentissent de ce fait le colmatage des filtres d'extraction. En cas d'arrêt de la ventilation, ils évitent que la contamination ne ressorte par cette voie.

b) Les filtres d'extraction

Ils assurent la filtration de l'air rejeté soit à l'extérieur, soit dans un réseau, plus général, de ventilation. Ils peuvent devenir source d'exposition externe puisqu'ils ont vocation à retenir les aérosols radioactifs. Il y a donc des contrôles à effectuer sur les systèmes de filtration.

c) Les vannes de réglage

Elles permettent l'ajustement, du débit de ventilation, à l'extraction ou/et à l'admission et par conséquent, de la dépression. Il est possible par leur fermeture d'assurer un isolement complet de l'enceinte, la ventilation étant bien entendu à l'arrêt.

d) Le manomètre

Le plus souvent à aiguille, il indique en permanence le niveau de la dépression de l'enceinte. S'il y a un risque de contamination élevée à l'intérieur de l'enceinte, on protège ce dispositif avec un filtre. Compte tenu de l'importance de la mesure de la dépression, il doit être situé en un point facilement visible des expérimentateurs.

e) Le débitmètre

On peut mesurer le débit de ventilation. C'est une indication supplémentaire, mais pas indispensable.

On peut également trouver en fonction du type d'enceinte utilisée, un sas ventilé, une soupape de sécurité.

La présence d'un sas ventilé permet l'introduction et la sortie de matériel dans des conditions contrôlées, c'est à dire sans rupture de confinement. C'est donc un matériel indispensable pour effectuer les transferts en boîte à gants dans de bonnes conditions.

La soupape de sécurité, hydraulique ou mécanique, protégée par un filtre, garantit l'enceinte des risques de dépression excessive ou de surpression.

3 ENCEINTES DE CONFINEMENT – LA FILTRATION

Pour assurer le confinement de la contamination, le circuit de ventilation des enceintes est équipé de filtres à très haute efficacité (THE), à l'admission comme à l'extraction. Ces filtres doivent tenir à la température (cas d'un incendie) suffisamment longtemps pour préserver l'intégrité du circuit de ventilation.

Pour les enceintes où sont manipulés des produits volatils tels que l'iode, on ajoute derrière le filtre THE, un filtre à charbon actif pour piéger ces produits.

Les filtres sont généralement installés sur la partie supérieure de l'enceinte. Ils doivent cependant rester accessibles, pour des changements faciles.

Il faut donc donner quelques définitions concernant la filtration des poussières ou aérosols par des filtres à très haute efficacité et la filtration des iodes par les pièges à charbon actif.

3.1 Notions théoriques sur la filtration des aérosols

a) La couche filtrante

Filtre ou élément de filtre constitué par l'empilement, l'agglomération, le feutrage, le bourrage ou tissage de produit fibreux ou solide de granulométrie variable. C'est aussi ce que l'on appelle le média filtrant.

b) La perte de charge ΔP

C'est la résistance offerte par le filtre au passage de l'air pour une vitesse donnée. Il en résulte une différence de pression totale entre les faces d'entrée et de sortie, que l'on peut assimiler à une différence de pression statique. La perte de charge d'un filtre est une propriété importante car elle influence le coût énergétique d'un procédé de filtration, son évolution dans le temps (maintien du débit) et la durée de vie du filtre. La perte de charge s'exprime en pascal (Pa)

c) Le colmatage

Au cours de la filtration, les particules se déposent à l'intérieur et à la surface du média. Le filtre se colmate progressivement. Sa structure en est alors modifiée et ce phénomène de colmatage entraîne des modifications de la perte de charge.

d) Le rendement R_f - L'efficacité E

C'est le rapport de la concentration d'aérosols retenue par le filtre C_f , sur la concentration d'aérosols incidents C_i , pour une vitesse de passage donnée.

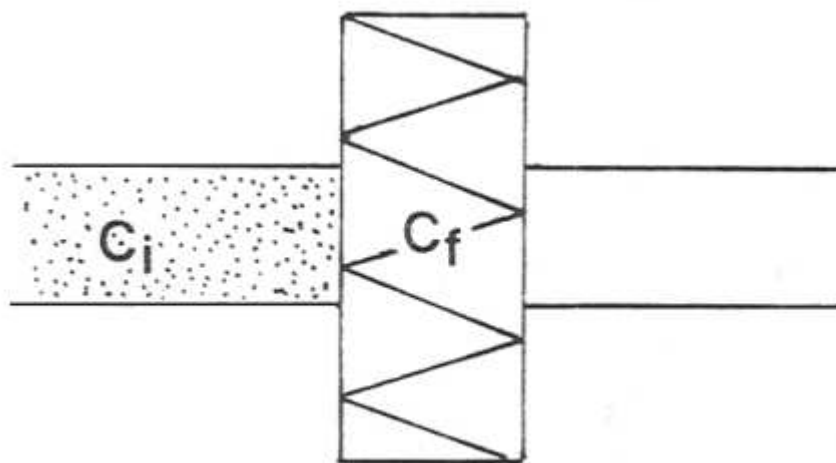


Figure n°8 : Filtration des aérosols - rendement

$$R_f = \frac{C_f}{C_i}$$

Le rendement s'exprime généralement en pourcent. Ce nombre n'étant pas représentatif, on a défini une autre grandeur, l'efficacité E .

C'est le rapport entre la concentration d'aérosols incidents C_i et la concentration des aérosols n'ayant pas été piégé par le filtre soit $(C_i - C_f)$, pour une vitesse de passage donnée.

$$E = \frac{C_i}{C_i - C_f} = \frac{1}{1 - R_f}$$

L'efficacité est donc toujours un nombre supérieur à 1. On demande généralement à un filtre THE d'avoir une efficacité supérieure à 1000, dans les conditions normales de fonctionnement.

Ce qui donne un rendement égal à :

$$1000 = \frac{1}{1 - R_f} \text{ d'où } R_f = 99.9 \%$$

En ce qui concerne les filtres THE l'efficacité est très influencée par la granulométrie des particules. On observe une valeur minimum pour un diamètre aérodynamique de $0.15 \mu\text{m}$.

3.2 Notions théoriques sur la filtration de l'iode par adsorption

Les forces de cohésion qui maintiennent ensemble les atomes et les molécules à l'intérieur d'un solide existent également à la surface de celui-ci. Ces forces superficielles capables de retenir des molécules extérieures qui s'approchent très près de la surface d'un solide, définissent le phénomène d'adsorption.

Plus la surface de dépôt est importante plus l'efficacité du phénomène sera accrue. On utilise à cet effet du charbon de noix de coco ayant une porosité importante et donc une grande surface de dépôt possible. Pour encore augmenter la collection des produits radioactifs marqués avec l'iode, on imprègne le charbon généralement avec de l'iodure de potassium (IK). On dit que l'on a un charbon actif (attention pas radioactif).

Les atomes d'iode radioactifs se déposent plus facilement car on assiste à un "échange isotopique" entre l'iode radioactif et l'iode stable.

L'étude de l'efficacité de piégeage a montré que l'adsorption suit une loi exponentielle et que l'adsorption de l'iode est très différente selon sa forme physico-chimique :

Iode moléculaire I_2 (forme la plus courante) : forme très adsorbable.

Iodure de méthyle gazeux ICH_3 : forme moyennement adsorbable.

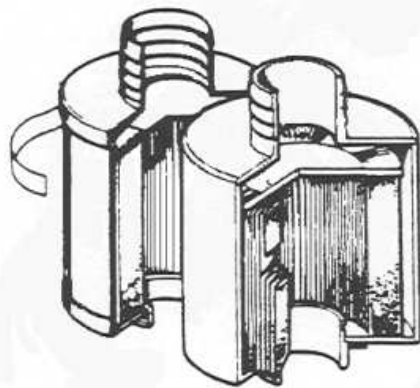
Iode sous forme particulaire : pas adsorbable (mais filtré préalablement)

Il faut aussi avoir à l'esprit qu'il peut y avoir désorption (relargage d'iode) dans le temps ou si un autre corps venait à se fixer sur le charbon.

3.3 Présentation de différents types de filtres

a) Les filtres à carter THE

La cartouche filtrante se compose d'une couronne en papier mélangé avec de la fibre de verre au moyen d'un liant et dont l'étanchéité dans le carter est assurée au moyen d'un joint en PCV. L'efficacité de ce type de filtre est égale à 10^5 (en début d'utilisation). On emploie ce type de filtre dans le cas où le débit n'est pas trop important (jusqu'à $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).



Illustrations catalogue PMDS

Figure n°9 : Filtres à carter

b) Les filtres dièdres THE

Pour les débits plus importants, comme ceux d'une enceinte de confinement on installe des filtres dièdres à l'admission comme à l'extraction. Les éléments filtrants sont constitués par du papier mélangé à de la fibre de verre au moyen d'un liant et posés sur une carcasse en tôle par un mortier qu'on appelle "lut". Chaque élément filtrant offre une surface d'environ 5 m^2 et il est possible de les grouper.

REMARQUE : Lors du choix de la ventilation ne pas oublier que les éléments filtrants engendrent une perte de charge

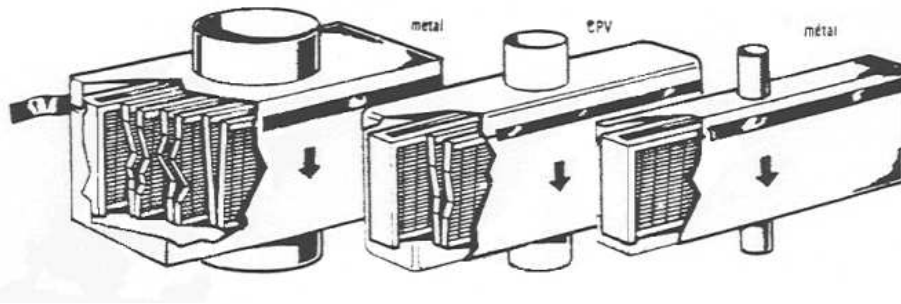
Exemple :

Un filtre dièdre (réf BSS 1 Sofiltr) induit une perte de charge égale à

$$\Delta P = 7 \text{ mmCE pour } Q = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\Delta P = 19 \text{ mmCE pour } Q = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\Delta P = 40 \text{ mmCE pour } Q = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$



Illustrations catalogue PMDS

Figure n°10 : Filtres dièdres

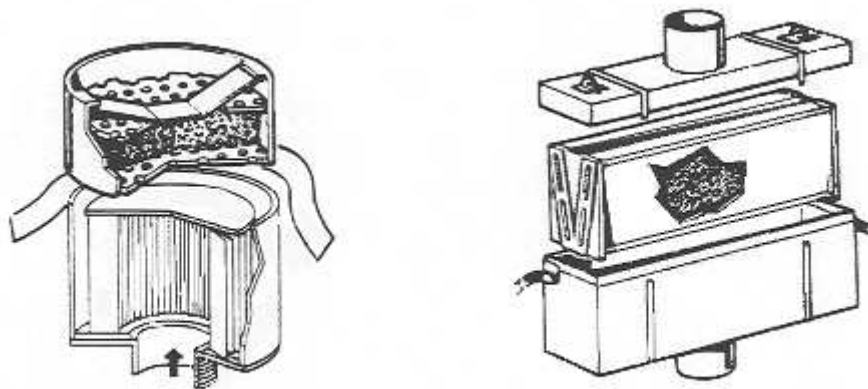
c) Les filtres à charbon actif utilisés pour le piégeage de l'iode

Le filtre est constitué de charbon tassé en couche entre des tamis, ceux-ci étant soudés à une armature métallique. Ils sont toujours précédés d'un filtre à très haute efficacité et peuvent être type dièdre ou type carter.

Ils induisent aussi une perte de charge

Exemple pour un piège type dièdre :

$$\Delta P = 35 \text{ mmCE pour } Q = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$



Illustrations catalogue PMDS

Figure n°11 : Filtres à charbon actif

Avertissement : Il est conseillé de stocker tous les éléments filtrants dans un emballage étanche (celui d'origine) dans un endroit sec et en évitant les vapeurs de solvant (comme la peinture par exemple).

4 PROPAGATION DE LA CONTAMINATION ATMOSPHERIQUE

4.1 La ventilation des locaux

4.1.1 Introduction

On va utiliser les mêmes principes que pour le captage de la contamination par les enceintes de confinement. On va donc mettre en oeuvre un confinement statique et dynamique. Si la conception des enceintes de confinement est bien réalisée, le risque de dissémination est minime. On prévoit une ventilation du local pour palier à un incident. Cette ventilation a donc pour fonctions :

- Le confort dans les conditions normales de travail, en assurant le traitement de l'air par un renouvellement approprié, la régulation de la température et du taux d'humidité des locaux.
- Le confinement d'un incident de contamination au seul local.
- L'assainissement de celui-ci de par le renouvellement de l'air.
- L'épuration en concentrant sur des filtres et pièges, les poussières, les aérosols, les gaz radioactifs.
- Une éventuelle surveillance en faisant des mesures par rapport aux produits radioactifs, mais aussi chimiques.

Il faut avoir en permanence à l'esprit que, c'est l'air qui transfère la contamination et non la contamination qui diffuse dans le local.

En orientant les transferts, c'est à dire en imposant un sens de déplacement de l'air de la zone la moins susceptible d'être contaminée vers la zone susceptible d'être la plus contaminée, on bloque la dispersion de la contamination.

4.1.2 Soufflage et extraction

Pour permettre un renouvellement de l'air, il faut certes l'extraire du local mais aussi en injecter à l'intérieur. Pour éviter une dissémination de la contamination, en cas d'incident, hors du local il faut donc comme pour les enceintes de confinement créer une différence de pression. Le laboratoire va donc être en dépression par rapport à l'extérieur de manière que les fuites (inévitables) se fassent vers l'intérieur. Pour cela le débit d'extraction d'air devra être légèrement plus important que le débit de soufflage.

On pourrait penser que c'est l'extraction qui assure un transfert préférentiel de l'air. Prenons l'exemple suivant :

Dans un local, on injecte et l'on reprend $1100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (un petit peu plus à l'extraction) avec des bouches de soufflage et d'extraction identiques ayant un diamètre de 20 cm. La vitesse de l'air au niveau de ces orifices est égale à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En reprenant la notion de jet turbulent (voir figure n°3) pour le soufflage, on observe que :

- la vitesse de l'air est encore égale $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à une distance de 12 mètres soit 60 diamètres de la bouche de soufflage.
- la vitesse de l'air est égale $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à une distance de 20 centimètres soit 1 diamètre de la bouche d'extraction.
- l'induction du jet turbulent fait que le volume horaire mis en mouvement est égal à $22000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, soit 20 fois le débit injecté ou repris.

4.1.3 Valeurs pratiques pour la ventilation des locaux

Le nombre de renouvellements horaire est généralement compris entre 2 et 5 pour un local ventilé classé en zone contrôlée.

Une dépression permanente doit être maintenue dans la zone par rapport à la zone contiguë de risque moins élevé, ce qui est le cas si le débit d'extraction est un petit plus grand que le débit de soufflage. Cette dépression est comprise entre 1 et 5 mmCE.

Ce que l'on peut retenir de la ventilation des locaux.

Le mouvement des polluants est dû aux mouvements de l'air.

Le mouvement de l'air dans la pièce est donc dû :

- au soufflage (l'extraction a très peu d'efficacité)
- aux sources thermiques.
- aux déplacements.

Le débit d'aspiration épure l'air.

Le débit de soufflage homogénéise l'air.

L'air neuf doit parvenir rapidement dans les zones occupées par les expérimentateurs et bien se renouveler.

Il ne doit pas y avoir de zone "morte", endroit du local où l'air ne circule pas.

Les transferts de pollution sont déterminés par la position et la forme des bouches de soufflage.

La ventilation en piston n'existe pas dans les locaux ventilés.

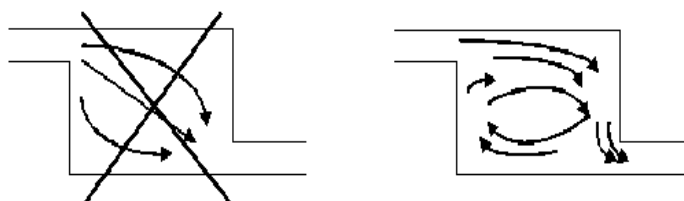


Figure n°12 : Pas de ventilation en piston

L'air soufflé est généralement filtré.

L'air extrait doit être impérativement filtré avec des filtres THE ou des pièges.

La prise d'air de soufflage ne doit pas être sous l'influence de la cheminée de rejet.

4.2 Entraînement de la contamination

Nous allons étudier plusieurs cas de contamination atmosphérique et leurs évolutions en fonction de l'émission et du local.

4.2.1 Cas d'une émission continue

On va supposer un relâchement permanent de contamination atmosphérique.

a) Cas d'un local clos

La concentration (activité volumique) va croître proportionnellement au temps, jusqu'à ce qu'une cause physique limite la croissance (exemple : tout le produit s'est dispersé).

S'il n'y a aucun mouvement d'air la concentration va rester constante. Si elle se présente sous forme aérosols et en fonction de la granulométrie de ceux-ci, une partie de cette contamination va se redéposer sur le sol, les parois, etc...

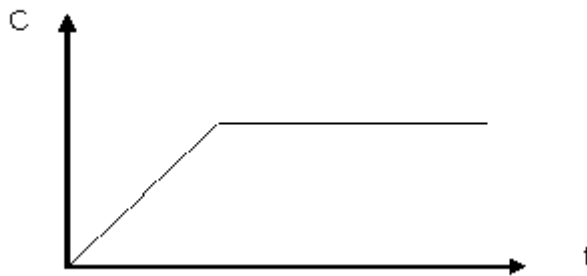


Figure n°13 : Evolution de la concentration d'une émission continue en local clos

b) Cas d'un local ventilé

Si Q est le débit de ventilation du local de volume V, l'activité volumique ou concentration moyenne C en fonction du temps est donnée par la relation suivante :

$$C = \frac{A_h}{Q} (1 - e^{-Rt})$$

où : A_h est l'activité libérée par unité de temps exemple d'unité $Bq \cdot h^{-1}$

Q débit de ventilation alors donné en $m^3 \cdot h^{-1}$

R le nombre de renouvellements horaire en h^{-1} (rappel $R = Q/V$)

t le temps en h

C est alors exprimée en $Bq \cdot m^{-3}$

On suppose bien entendu que la concentration était nulle avant le début de l'émission, que le débit de soufflage n'induit pas de contamination supplémentaire, que l'homogénéisation est réalisée donc que la concentration extraite correspond à la concentration moyenne.

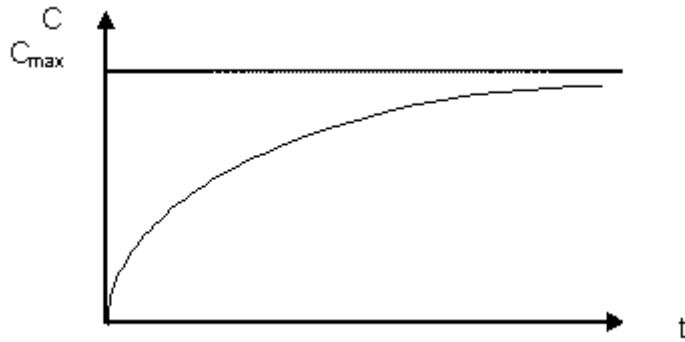


Figure n°14 : Evolution de la concentration d'une émission continue en local ventilé

La concentration tend vers une valeur limite, indépendante du volume V mais fonction du débit Q . En effet si t est grand alors e^{-Rt} tend vers 0 d'où :

$$C_{\max} = \frac{A_h}{Q}$$

Le temps pour atteindre cette valeur maximum lui est fonction de R (donc de V). Plus R est grand, plus C_{\max} est atteinte rapidement.

4.2.2 Cas d'une émission de courte durée

On va supposer un relâchement ponctuel de contamination atmosphérique, tel que le bris d'un flacon sur le sol avec remise en suspension de l'activité dans l'ensemble du laboratoire.

a) Cas d'un local clos

Si A est la quantité de contaminant émise suite à un incident de manière immédiate et V le volume du local clos, la concentration dans l'air va être égale à :

$$C = \frac{A}{V}$$

En supposant que les faibles déplacements d'air homogénéisent l'atmosphère.

Si un opérateur se trouve dans ce local, il est important de faire une évaluation rapide de l'activité inhalée. On prend l'hypothèse que l'opérateur se trouve à une distance d de la source, que la contamination suit les mouvements naturels de l'air et que la dilution est fonction du carré de la distance. On a donc établi une relation empirique donnant l'activité inhalée en fonction de l'activité émise et de la distance d . On obtient :

$$A_{\text{inhalée}} = \frac{10^{-3} \times A_{\text{émise}}}{d^2}$$

Il s'agit bien entendu d'une estimation.

b) Cas d'un local ventilé

Si Q est le débit de ventilation du local de volume V , C_0 l'activité volumique ou concentration maximum dans le local, la concentration C en fonction du temps est donnée par la relation suivante :

$$C = C_0 \times e^{-Rt}$$

où : C_0 est l'activité volumique maximale en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
 R le nombre de renouvellements horaire en h^{-1} (rappel $R = Q/V$)
 t le temps en h
 C est alors exprimée en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

On définit la période comme le temps nécessaire pour que la concentration (ou activité volumique) diminue de moitié.

$$T_v = \frac{\ln 2}{R}$$

La rapidité de cette décroissance exponentielle dépend du taux de renouvellement R. D'un point de vue pratique, dans le cas d'étude de traçage on peut déterminer le taux de renouvellement en observant la décroissance sur papier semi-logarithmique. La pente de la droite correspond à -R.

On peut noter que comme pour la décroissance radioactive, au bout de 7 périodes il restera environ le centième de l'activité initiale (1/128 pour les puristes). On aura donc épuré 99 % de l'activité initiale. Au bout de 10 périodes il restera environ le millième de l'activité initiale.

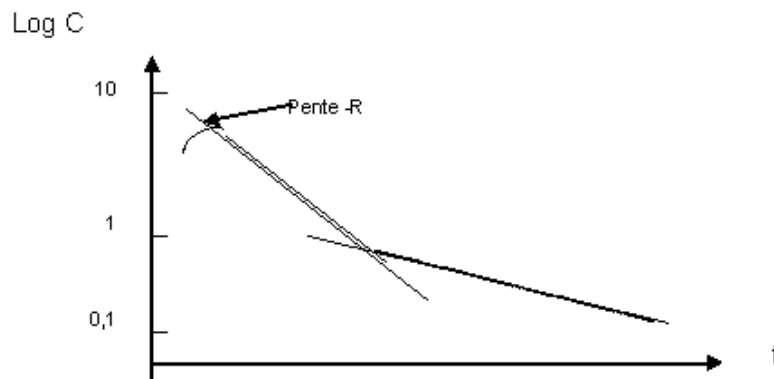


Figure n°15 : Evolution de la concentration d'une émission instantanée en local ventilé

Si le local est mal ventilé, mauvaise homogénéisation ou présence de zones mortes, la courbe obtenue ressemblera à la somme de plusieurs segments exponentiels. Il y aura des pentes différentes (courbes en pointillés).

Or l'existence de zones mortes est un cas très fréquent. Il est par conséquent difficile de connaître R avec précision.

Applications

Exercice n°1

On considère un laboratoire ventilé de volume $V = 100 \text{ m}^3$ et dont le taux de renouvellement d'air R est égal à 4. Calculer la concentration maximale de l'air du laboratoire, dans le cas d'une fuite continue d'un composé volatil marqué avec du cobalt 57 correspondant à 3 nCi par seconde.

Réponse :

$$C_{\max} = \frac{A_h}{Q}$$

$$A_h = 3 \times 10^{-9} \times 3600 \times 3,7 \times 10^{10} = 4 \times 10^5 \text{ Bq.h}^{-1}$$

$$Q = R \times V \quad Q = 100 \times 4 = 400 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$

$$\text{d'où } C_{\max} = 1000 \text{ Bq. m}^3$$

Exercice n°2

Considérons l'émission de courte durée dans un local clos, d'une activité de $1,85 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ de chrome 51. Quelle sera l'activité inhalée par un opérateur s'étant trouvé à 2 m du point d'émission ?

Réponse :

$$A_{\text{inhalée}} = \frac{10^{-3} \times A_{\text{émise}}}{d^2}$$

d'où

$$A_{\text{inhalée}} = \frac{10^{-3} \times 1,85 \times 10^8}{4} = 4,63 \times 10^4 \text{ Bq}$$

Exercice n°3

Un incident libère instantanément une activité de 30 MBq dans l'atmosphère d'un laboratoire ayant un volume $V = 120 \text{ m}^3$. Calculer le niveau de contamination atmosphérique atteint, en supposant une dilution homogène dans tout le local, la ventilation ayant un débit de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
 Quelle est la valeur de l'activité volumique au bout de trente minutes ?
 Calculer au bout de combien de temps le niveau de la contamination atmosphérique sera 2000 fois plus petit.

Réponses :

1°)

$$C_0 = A / V \quad C_0 = \frac{30 \times 10^6}{120} = 2,5 \times 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$2^\circ) \quad R = Q / V \quad R = 600 / 120 = 5 \text{ renouvellements} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$C = C_0 \times e^{-Rt}$$

$$C = 2,5 \cdot 10^5 \times e^{-5 \times 0,5} = 2,05 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

3°)

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)}{R} = -\frac{\ln\left(\frac{1}{2 \times 10^3}\right)}{5} = 1,52 \text{ h soit } 1 \text{ h } 31 \text{ min}$$

Comment faire une évaluation rapide de dose efficace engagée après une contamination atmosphérique dans un local ventilé, sans faire ensuite un traitement médical ?

Reprenons l'énoncé de l'exercice n°3 ci-dessus.

Supposons qu'un opérateur est resté pendant trente minutes dans le laboratoire sans qu'il se soit aperçu de l'incident, faute de système de mesure en temps réel.

Il nous faut connaître le radionucléide en cause car nous allons utiliser le coefficient de dose par unité d'incorporation (DPUI) en inhalation.

Dans un premier temps on peut constater que l'activité volumique varie avec le temps et donc l'activité incorporée va aussi varier. Il faut donc intégrer une fonction de décroissance exponentielle par rapport au temps.

$$C = C_0 \times e^{-Rt}$$

L'activité incorporée est égale à :

$$A_i = C \times q \times t$$

où C est l'activité volumique qui varie avec le temps

q est le débit de respiration de la personne

t est le temps d'exposition

$$A_i = C_0 \times e^{-Rt} \times q \times t$$

Il faut donc intégrer la fonction exponentielle sur le temps entre l'instant initial et 30 minutes.

Pour ceux de nos lecteurs peu familiarisés avec le calcul intégral nous donnons le résultat. Nous vérifierons avec les unités que la formule est correcte

$$A_i = \frac{C_0 \times q}{R} \times (1 - e^{-Rt})$$

C_0 est en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

q est en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

R est en h^{-1}

Ai est donc en Bq car le calcul entre parenthèses n'a pas d'unité.
Appliquons alors la formule avec un débit de respiration de $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour l'homme standard au travail.

$$A_i = \frac{2,5 \cdot 10^5 \times 1,2}{5} \times (1 - e^{-5 \times 0,5}) = 5,5 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

Il suffit ensuite de multiplier l'activité incorporée par la valeur de la DPUI correspondante pour obtenir la dose efficace engagée. Si on ne connaît pas la granulométrie des aérosols et la forme physico chimique du produit on peut prendre la valeur la plus restrictive pour effectuer le calcul.

Pour illustrer le calcul nous prendrons du phosphore 32. La valeur la plus restrictive de la DPUI est égale à : $3,2 \cdot 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1}$

La dose efficace engagée est donc égale à :

$$E = 5,5 \cdot 10^4 \times 3,2 \cdot 10^{-9} = 0,18 \text{ mSv}$$

Il est important de dire que le médecin du travail va pouvoir entamer des actions pour limiter la dose efficace engagée. Il sera le seul à estimer cette dose interne et pourra ainsi renseigner la base de données SISERI de l'IRSN.

5 LES CONTROLES REGLEMENTAIRES A EFFECTUER

L'annexe de l'arrêté du 26 octobre 2005 énumère la liste des contrôles à effectuer et dans le cadre de la technologie des équipements. Voici les différentes actions à mener.

5.1 Contrôles de la gestion des sources radioactives non scellées (CSP)

5.1.1 Contrôle du registre des mouvements de sources

Ceci permettant de répondre aux dispositions de l'article R.1333-50 du code de la santé publique.

Pour les sources en bénéficiant, vérification de l'existence du formulaire prévu aux articles R.1333-47 à R.1333-49 et de leur enregistrement par l'IRSN.

5.1.2 Vérification de l'existence d'une procédure interne en cas de perte ou de vol de source

5.1.3 Vérification des activités maximales

Les activités détenues dans l'installation ou l'établissement doivent respecter les limites fixées dans l'autorisation ou la déclaration.

5.2 Contrôles techniques des sources (CT)

5.2.1 Intégrité des équipements contenant les sources

Recherche :

- des fuites possibles de rayonnements des appareils, récipients ou enceintes (et de leurs accessoires) dans lesquels sont présents les radionucléides ;
- de contamination sur les parties extérieures accessibles des appareils, récipients ou enceintes (et de leurs accessoires) dans lesquels sont stockés les radionucléides, hors manipulation
- des fuites possibles de rayonnements au niveau des appareils d'utilisation (injecteurs, transferts, générateurs d'éluion, boîtes à gants protégées, etc.) et de leurs protections (cellules blindées de manipulation, enceintes et boucliers de plomb ou toute autre matière opaque aux rayonnements en cause...);

Vérification :

- des contrôles des installations de ventilation et d'assainissement des locaux en applications de l'article R. 232-5-9 du code du travail.

D'un point de vue pratique, voici quelques éléments sur la ventilation

a) Contrôle d'étanchéité

Un contrôle d'étanchéité avant mise en service, est impératif pour permettre d'identifier la classe de l'enceinte dans le cas des boîtes à gants.

b) Détection des fuites

Dans le cadre des contrôles périodiques d'une enceinte étanche, plusieurs tests peuvent être mis en œuvre. Nous ne citerons que le test réglementaire donné par les normes NF M-62 210 à M-62 213 ou par la norme ISO 10648-2.

L'enceinte étant en dépression, on utilise l'oxygène de l'air comme traceur. La méthode consiste à mesurer la pénétration de l'oxygène extérieur à l'enceinte (celui de l'atmosphère), après avoir préalablement rempli celle-ci d'un gaz inerte (argon ou azote). On mesure donc en cas de fuite la remontée de la concentration en oxygène à l'intérieur de la boîte à gants.

c) Contrôle du taux de renouvellement

Connaissant le volume utile de l'enceinte et le débit au niveau du filtre d'extraction, nous pouvons calculer R. On utilise l'hélium pour faire ce type de mesure. On remplit l'enceinte de ce gaz et avec un spectromètre de masse, on mesure la concentration à des temps déterminés. On peut ainsi en déduire R.

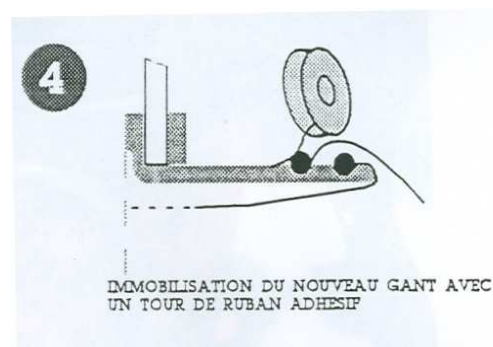
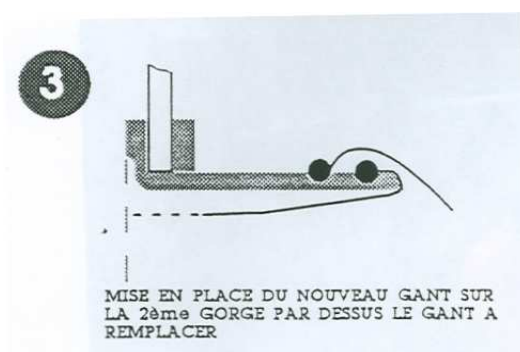
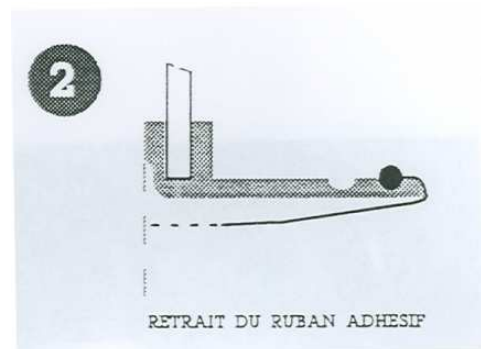
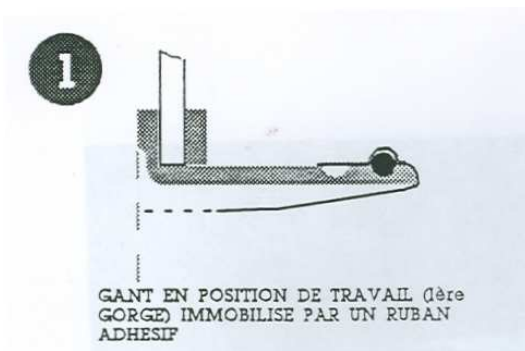
d) Contrôle de la vitesse de l'air aux ouvertures

La mesure de la vitesse de l'air aux ouvertures (sas, portes, ronds de gants...) peut être réalisée à l'aide d'un anémomètre à hélice ou à fil chaud (mesure de $v > 0.5 \text{ m.s}^{-1}$).

e) Contrôle des gants

Les gants de boîte à gants doivent faire l'objet d'une surveillance attentive, afin de dépister toute cause de fuite éventuelle. Le débit de dose mesuré à l'intérieur des gants avec des dosimètres thermoluminescents par exemple, pourra être révélateur, selon les cas, d'une contamination du gant importante.

Dans les cas d'usure ou de contamination le gant doit être changé, selon la procédure et les précautions habituelles. Celles-ci vous sont données ci après.



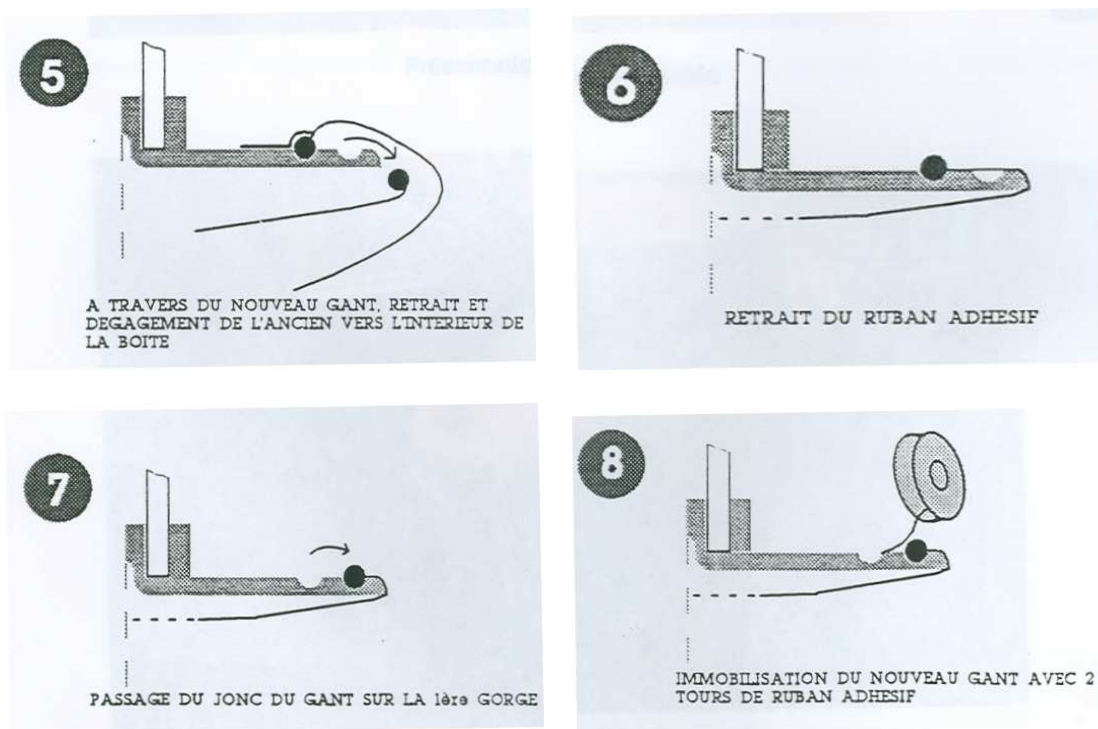


Figure n°16 : changement de gants sur boîte à gants

e) Contrôle des filtres

Le contrôle de l'efficacité des filtres THE et des pièges à iodes dont les procédures sont données respectivement par les normes X-44 011 et M-62 206, nécessite des dispositifs et des appareils de mesure adaptés. Il ne peut être mis en œuvre que par une équipe spécialisée. Ces contrôles sont essentiellement faits dans les installations nucléaires.

Ces contrôles sont donc difficiles à mettre en œuvre. Ils sont cependant très utiles lorsqu'on doute d'un élément filtrant. La personne compétente hors domaine nucléaire peut tout de même chercher des phénomènes révélateurs d'anomalies :

- Diminution ou augmentation de la dépression.
- Débit de dose élevé au contact de l'élément filtrant.

5.2.2 Contrôle des dispositifs de sécurité et d'alarme des sources et des installations

Vérification :

- de la présence et du bon fonctionnement des dispositifs de sécurité et d'alarme des appareils, récipients ou enceintes contenant les radionucléides ;
- de la disponibilité d'instruments de mesure de la radioactivité appropriés ;
- de la disponibilité de moyens permettant de limiter la dispersion d'une éventuelle contamination radioactive puis d'effectuer la mise en propreté ;
- de l'existence de mesures d'urgence à appliquer en cas d'incident affectant les sources (incendie, perte de la source, rupture de la capsule ou de l'enveloppe de la source, renversement d'un récipient...) et de leur connaissance par les opérateurs.

5.3 Contrôles d'ambiance (CT)

5.3.1 Contrôle de la contamination surfacique

La mesure de la contamination surfacique peut être :

- soit obtenue directement par l'instrument lorsque les conditions de mesure sont voisines de celles de l'étalonnage de référence. Les caractéristiques de la source de référence utilisée pour l'étalonnage doivent être fournies avec l'appareil ;
- soit à partir de la mesure d'un taux de comptage en impulsions (ou coups) par seconde, traduite soit au moyen d'un rendement de détection de l'instrument dont la valeur a été déterminée par le

constructeur, soit d'un rendement de mesure pratique dont la valeur a été déterminée par un laboratoire d'étalonnage ;

- soit, en cas de contamination non fixée et lorsque la mesure directe n'est pas possible, par la technique du frottis en ayant soin de définir une surface standard et un rendement de frottis représentatif des conditions de prélèvement.

La vérification de la non contamination radioactive des locaux et des surfaces de travail (paillasse, sols....) ainsi que des matériels utilisés dans les installations où sont manipulées des sources radioactives non scellées doit être effectuée à l'aide de détecteurs adaptés aux rayonnements en cause complétée, le cas échéant, par des prélèvements sur frottis.

Des frottis sont systématiquement réalisés si la contamination ne peut pas être détectée directement (cas du tritium par exemple ou débit de dose élevé).

Outre une conclusion sur l'état radiologique du local, les résultats de cette vérification doivent indiquer les radionucléides recherchés et sont reportés sur un plan daté et identifié.

5.3.2 Contrôle de la contamination atmosphérique

La vérification de la non contamination de l'atmosphère par des poussières ou des gaz radioactifs doit être effectuée selon l'une ou l'autre des manières suivantes :

- un prélèvement automatique par moniteur de contamination atmosphérique donnant la valeur de l'activité volumique en temps réel ;
- un prélèvement effectué sur filtre, adapté, devant rapidement être analysé (comptage alpha ou bêta total, spectrométrie gamma ...) ;
- un prélèvement sur piège à gaz, selon le radionucléide considéré.

Le dispositif de prélèvement doit être placé de façon à détecter d'éventuelles contaminations compte tenu des conditions de ventilation des locaux (en dehors des zones mortes).

5.3.3 Contrôle des débits de dose (si le risque d'exposition externe existe)

Les débits de dose externe doivent être mesurés en différents points du local dans lequel se trouve la source de rayonnements. Les points de mesure sont choisis en cohérence avec l'analyse des postes de travail et la délimitation des zones surveillées, contrôlées, spécialement réglementées et interdites. Les résultats de ces contrôles sont consignés dans le document adapté. Ils précisent notamment la localisation, les caractéristiques des rayonnements et les débits de dose.

D'un point de vue pratique, voici quelques éléments sur les contrôles d'ambiance

a) Contrôle de la contamination surfacique

Les appareils de contrôle doivent se situer au plus près du plan de travail. Ils doivent être utilisés très régulièrement et pas seulement en fin de manipulation. Ils doivent être adaptés aux rayonnements que l'on veut détectés.

Comment passer d'une mesure en impulsions par seconde à une activité surfacique

Le rendement global d'une installation de comptage pour une source radioactive d'un radionucléide donné est égal au rapport entre le taux de comptage net (n), corrigé des éventuelles pertes au comptage et du mouvement propre et l'activité.

$$R = \frac{n \text{ (imp.s}^{-1}\text{)}}{A \text{ (Bq)}}$$

Le rendement global est fonction d'un nombre important de paramètres qui sont :

- I : l'intensité d'émission du rayonnement détecté exprimée en %
- K_{as} : fraction des rayonnements émis émergent de la source (on prend en compte l'auto absorption)
- Ω : angle solide sous lequel le détecteur voit la source
- K_m : fraction des rayonnements émis dans le bon angle solide et parvenant jusqu'au détecteur (prise en compte des diffusions et absorptions entre la source et le détecteur).
- K_f : fraction des rayonnements parvenus à traverser la fenêtre d'entrée.

- ϵ : efficacité de détection, rapport entre le nombre de rayonnements entrés dans le détecteur et le nombre d'impulsions comptées.

On peut donc écrire :

$$R = \frac{I}{100} \times K_{as} \times \frac{\Omega}{4\pi} \times K_m \times K_f \times \epsilon$$

Or, constate donc que le rendement de mesure est fonction de la distance entre la source et le détecteur et de la surface de la source (angle solide), mais aussi du support sur laquelle elle se trouve. Généralement le rendement de mesure, défini par les constructeurs, est établi pour une source ponctuelle déposée en surface sur le support et "au contact" de la source. Dans le cas d'une source surfacique il faudra estimer le nombre de rayonnements "vus" par la surface utile du détecteur (quand cela sera possible).

Dans des mesures relatives le rendement doit demeurer constant. Pour obtenir cette condition, la relation précédente montre que les sources doivent être identiques (même formes et même volumes) et qu'elles doivent être placées dans la même position par rapport au détecteur.

Ces conditions ne sont pas simples à réaliser et la présentation physique de la source peut varier de manière importante. De ce fait on peut calculer une valeur de rendement pratique qui peut être notablement différente de la valeur donnée par le constructeur. On ne pourra alors qu'estimer l'activité.

La norme ISO 7503-1 définit également le rendement et donne les explications concernant les termes de base.

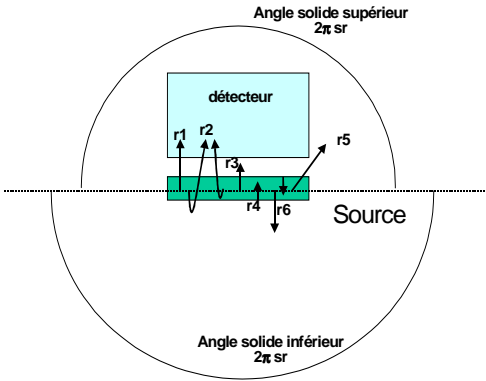


Figure n°17 : rendement de mesure

Terme	Symbole	Unité	Définition
Activité	A	Bq	$A = r1 + r2 + r3 + r4 + r5 + r6$
Taux d'émission d'une surface	$q_{2\pi}$	s^{-1}	$q_{2\pi} = r1 + r2 + r3 + r5$
Rendement d'une source	ϵ_s	pas	$\epsilon_s = \frac{r1+r2+r3+r5}{r1+r2+r3+r4+r5+r6} = \frac{q_{2\pi}}{A} \quad (1)$
Rendement d'un instrument donné par les constructeurs comme le rendement de mesure	ϵ_i	pas	$\epsilon_i = \frac{n}{r1+r2+r3+r5} = \frac{n}{q_{2\pi}}$
Rendement intrinsèque d'un instrument	I_i	pas	$I_i = \frac{n}{r1+r2}$
Réponse de l'instrument à une activité	Ri	pas	$R = \epsilon_i \times \epsilon_s = \frac{n}{A} \quad (2)$

- (1) Pour une source idéale ϵ_s est égal à 0,5 (pas d'auto-absorption et pas de rétro diffusion). En général il y a compensation entre les deux phénomènes.
- 2) Dans le cas du détecteur idéal ϵ_i est égal à 1. Tous les rayonnements sortant de la source sont TOUS vus par le détecteur.

On peut donc considérer que l'activité est donnée par la relation :

$$A = \frac{n}{\epsilon_i \times \epsilon_s} = \frac{n}{\text{rendement de mesure} \times 0,5}$$

Donc le rendement global R est égal au rendement de mesure multiplié par 0,5. On prend 0,5 conformément au (1) ci-dessus.

$$A \text{ (Bq)} = \frac{n \text{ (imp.s}^{-1}\text{)}}{\text{rendement de mesure} \times 0,5}$$

Exercice :

La mesure brute d'un échantillon donne 20 000 impulsions pour un temps de comptage de 4 minutes. Une détermination du bruit de fond a donné 2000 impulsions en 10 minutes. Le temps de résolution est très faible et n'induit pas de correction. Sachant que le rendement pratique ϵ_i , pour le rayonnement considéré, était de 30 % sous 2π , calculer l'activité de l'échantillon en Bq. La surface du frottis étant de 30 cm^2 , quelle sera l'activité surfacique ? On suppose que la surface utile du détecteur est égale à celle du frottis.

Réponse

$$n_c = 20\,000 / 4 = 5000 \text{ imp.min}^{-1}$$

Correction pour avoir le taux de comptage net (correction du bruit de fond)

$$n_{\text{bdf}} = 2\,000 / 10 = 200 \text{ imp.min}^{-1}$$

$$n_{\text{net}} = n_c - n_{\text{bdf}} = 5000 - 200 = 4800 \text{ imp.min}^{-1} = 80 \text{ imp.s}^{-1}$$

L'activité est alors égale à :

$$A = \frac{80}{0,30 \times 0,5} = 534 \text{ Bq}$$

L'activité surfacique sera donc :

$$A_s = \frac{534}{30} = 18 \text{ Bq.cm}^{-2}$$

b) Contrôle de la contamination atmosphérique

Dans la majorité des cas les utilisateurs ont des capteurs de contamination installés à poste fixe qui donnent en temps réel la valeur de la contamination atmosphérique.

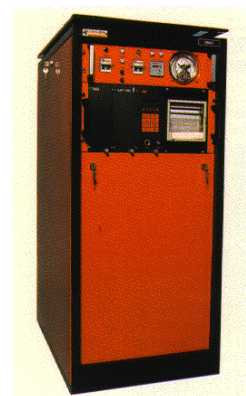
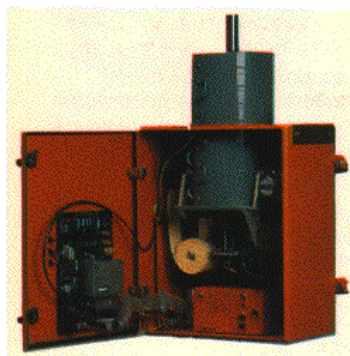
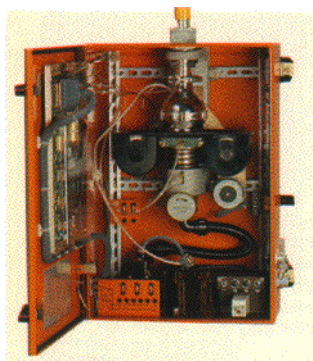


Figure n°18 : Matériel de mesure de la contamination atmosphérique

Il est nécessaire d'exercer une surveillance afin que toute contamination dans les locaux accessibles au personnel intervenant sans protection individuelle particulière soit décelée et que la cause soit éliminée. A cet effet, il convient de définir une grandeur opérationnelle qui correspond, pour un radionucléide donné, à l'activité volumique moyenne ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) qui conduit, suite à l'exposition d'une personne pendant une heure, à une dose efficace engagée de $25 \mu\text{Sv}$.

Cette grandeur opérationnelle permet de vérifier la conformité du zonage lié à un risque d'exposition interne par inhalation, par comparaison avec la mesure par prélèvement atmosphérique de l'activité volumique moyenne représentative d'une exposition d'une heure dans les conditions habituelles de travail. Elle est définie comme suit :

$$\text{grandeur opérationnelle} = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{d_r \cdot \text{DPUI}}$$

où :

d_r est le débit respiratoire d'une personne au travail : $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

DPUI est la dose par unité d'incorporation d'un radionucléide, exprimée en $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$, définie en fonction de la granulométrie et de la forme physico-chimique dans les tableaux de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003.

Plusieurs valeurs peuvent exister pour un même radionucléide présentant des formes chimiques différentes. En cas de doute sur la forme chimique, la valeur la plus restrictive est à prendre en considération. En cas d'inhalation, la vitesse de transfert d'un radionucléide vers un organe dépend de sa forme physico chimique. Pour établir les DPUI, trois facteurs de transfert ont été retenus:

F : fast (rapide)

M : médium (moyen)

S : slow (lent)

Pour mémoire, dans le cas des radionucléides solides ou liquides, les DPUI sont calculées pour des aérosols de diamètre aérodynamique médian en masse de 1 ou $5 \mu\text{m}$. Si l'on veut utiliser le coefficient approprié, il convient d'avoir préalablement effectué des mesures granulométriques. Ceci nécessite d'avoir réalisé une analyse sur les modes de production (effet mécanique, calorifique,...) et la ventilation des locaux (aspiration, soufflage, zones mortes,...).

Lorsque la granulométrie des aérosols n'est pas connue, la valeur de la DPUI retenue par défaut pour évaluer les grandeurs opérationnelles, sera celle correspondant à $5 \mu\text{m}$ (annexe 3 de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 relatif aux modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants).

Cependant, en cas d'incident conduisant à une inhalation de radionucléides par un salarié, il appartiendra au médecin du travail de décider ou non de retenir la valeur de DPUI conduisant à la dose efficace la plus restrictive en attendant d'avoir des informations plus précises sur les aérosols en cause.

Dans le cas particulier des gaz rares où la contamination atmosphérique conduit à une exposition externe par immersion dans le nuage radioactif, la valeur de la grandeur opérationnelle n'est pas calculée par rapport à la formule définie ci-dessus mais déduite directement du coefficient de dose par unité de concentration dans l'air intégrée dans le temps ($\text{Sv}\cdot\text{j}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) donné dans l'annexe 3 de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003.

Exemple d'application pour une installation où l'on manipule du $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$: le coefficient de dose par unité d'incorporation (DPUI) est pris égal à $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ pour une forme physico-chimique ayant un transfert lent dans l'organisme et une granulométrie de $1 \mu\text{m}$. En reprenant la formule précédente on obtient :

$$1 \text{ grandeur opérationnelle} = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7}} = 140 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

Ainsi, une activité volumique moyenne de $140 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ dans l'exemple cité au-dessus mesurée au moyen d'un prélèvement atmosphérique durant une heure dans une zone en présence de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ conduit à la limite supérieure d'une zone contrôlée, soit $25 \mu\text{Sv}$.

Il est rappelé qu'une exposition à 140 Bq.m^{-3} pendant 800 heures conduit à la limite annuelle d'exposition pour les travailleurs soit 20 mSv.

Lorsque d'autres radionucléides sont identifiés, le tableau précédent peut être paramétré sur la base des indicateurs correspondants. De même, lorsqu'il y a un mélange de radionucléides, il est nécessaire de calculer la grandeur opérationnelle pour le mélange.

5.4 Contrôle des moyens et des conditions d'évacuation des effluents, de tri, de stockage et d'élimination des déchets

En ce qui concerne les déchets issus des installations nucléaires, les déchets ne font pas l'objet de remise en circulation dans des filières dites classiques. Il est nécessaire de respecter les procédures en vigueur sur chaque installation et le zonage qui correspond (zonage déchet différent du zonage radioprotection).

Tout ce qui rentre en zone réglementée est systématiquement considéré comme déchet radioactif et éliminé dans la filière faible ou très faible activité.

Des critères sont à retenir pour établir la classification des déchets radioactifs ainsi que les conditions d'emballage de stockage et de traitement.

Les déchets doivent être stockés dans un local réservé. Pour une bonne conception du local de stockage, on peut retenir les suggestions suivantes :

- aération simple du local (ouïes hautes et basses)
- cuvelage permettant de recueillir des effluents radioactifs (dans le cas d'une bonbonne détériorée)
- sols et murs enduits d'un revêtement décontaminable (peinture)
- balisage du local et des différents conteneurs
- accès direct vers l'extérieur (en vue de l'évacuation des récipients par un organisme qualifié)

La gestion de l'ensemble du local est confiée à une personne responsable, pas forcément la personne compétente, (plus un suppléant) qui sera chargée de :

- la tenue du registre de stockage
- la surveillance du lieu
- vérifier les formalités administratives d'évacuation.

Dans le cas de l'installation d'une "cuve active" destinée à recevoir un volume important d'effluents actifs ou douteux, il est judicieux d'employer des matériaux résistants à différents agents chimiques (on choisit l'inox de préférence). L'installation des divers conduits d'écoulement vers la cuve nécessite une étude préalable (choix de la tuyauterie, de son parcours notamment de la pente des raccords des joints, de la traversée des murs ; à éviter les siphons qui favorisent la stagnation de liquides radioactifs)