

« Initiation à la radioprotection »

Marc AMMERICH

## SOMMAIRE

1 DÉFINITIONS	3
1.1 L'exposition	3
1.2 La contamination radioactive	3
1.3 La dose absorbée	4
1.4 Le débit de dose absorbée	4
2 NATURES ET CARACTÉRISTIQUES DES EFFETS LIÉS A L'EXPOSITION AUX RADIATIONS D'UN ORGANISME HUMAIN	5
2.1 Les effets non stochastiques	5
2.2 Les effets stochastiques	6
3 DOSE ÉQUIVALENTE	6
4 OBJECTIFS LIÉS A LA FIXATION DE LIMITES A L'EXPOSITION INDIVIDUELLE	7
4.1 Le concept de détriment agrégatif	8
4.2 Le facteur de risque	9
5 NOTIONS SUR LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE	10
5.1 Les textes réglementaires	10
5.2 Les nouveaux organismes nationaux	12
5.2.1 La Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection	12
5.2.2 L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire	13
5.2.3 Autres organismes	14
5.3 L'employeur et la Personne Compétente	14
6 LES LIMITES D'EXPOSITION	15
7 EQUIVALENT DE DOSE ENGAGÉE, REPÈRE EN ACTIVITÉ INCORPORÉE	17
8 REPERE EN CONCENTRATION ATMOSPHERIQUE	19

9 LES CATÉGORIES DE TRAVAILLEURS, CLASSEMENT DES ZONES DE TRAVAIL	21
9.1 Classement des travailleurs	21
9.2 Classement des zones de travail	22
10 LES MOYENS DE PROTECTION	23
10.1 Les moyens de protection contre l'exposition externe	24
10.2 Les moyens de protection contre l'exposition interne	24
10.2.1 Les moyens réglementaires de protection contre l'exposition interne	24
10.2.2 Les moyens physiques de protection contre l'exposition interne	25
10.3 Les moyens de protection contre la contamination corporelle externe	25
11 GESTION DES SOURCES ET DES DECHETS RADIOACTIFS	26
11.1 Les sources radioactives	26
11.2 Les déchets radioactifs	26
11.3 Classification par catégorie des déchets "petits producteurs «	28
11.3.1 Critère radioactif	28
11.3.2 Critère physico-chimique	29
BIBLIOGRAPHIE	30

# 1 DÉFINITIONS

## 1.1 L'exposition

Tout individu soumis à l'action des rayonnements ionisants est dit **exposé**.

Si les sources d'émission des rayonnements sont situées à l'extérieur de l'organisme l'exposition est **externe**, si elles sont situées à l'intérieur elle est **interne**.

L'exposition du corps entier considérée comme homogène est une **exposition globale** par opposition à l'**exposition partielle** relative à une partie du corps, ou à un ou plusieurs organes ou tissus.

La somme des expositions interne et externe constitue l'**exposition totale**.

## 1.2 La contamination radioactive

La **contamination radioactive** est légalement définie comme étant "la présence indésirable de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque, y compris le corps humain".

Une contamination est nécessairement le résultat de la **dissémination** d'une substance radioactive, suite à la manipulation sans précaution de sources non scellées ou suite à la destruction accidentelle de l'enveloppe de confinement d'une source scellée.

La dissémination d'une partie de la source peut créer une contamination de l'environnement dite **surfactive** et/ou **atmosphérique** selon la nature et la forme physicochimique de la substance radioactive.

La contamination des individus ou **contamination corporelle** peut être externe ou interne selon que la substance radioactive disséminée est déposée sur la peau ou s'est introduite à l'intérieur de l'organisme par inhalation, ingestion ou migration à travers la peau (lésée ou non).

**Une contamination externe engendre une exposition externe, une contamination interne une exposition interne.**

L'exposition externe professionnelle à distance n'existe que pendant le temps de travail et peut se maîtriser (influence du temps, de la distance et des écrans).

La contamination corporelle externe engendre presque toujours une exposition intense de la peau et des tissus sous-jacents, permanente (24 heures sur 24) jusqu'à ce qu'elle soit découverte et éliminée.

La contamination interne engendre de même une exposition permanente des tissus et organes et sa diminution progressive grâce à la conjonction de la décroissance radioactive et de l'élimination biologique, que l'on nomme la ***période effective***, peut dans certains cas être négligeable à l'échelle de temps d'une vie humaine.

Les contaminations surfaciques ou corporelles peu fixées sont aisément décontaminables mais se propagent facilement ; par contre les contaminations fixées sont peu transférables mais beaucoup plus difficiles à éliminer.

### **1.3 La dose absorbée**

La dose absorbée est donc l'énergie cédée par les rayonnements à l'unité de masse exposée.

Dans un milieu exposé aux rayonnements ionisants, la dose absorbée (notée D) en un point déterminé est donnée par la relation :

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Dans laquelle dE est l'énergie moyenne cédée par les rayonnements dans un élément de volume de masse dm entourant le point considéré, c'est à dire la différence entre la somme des énergies des rayonnements qui ont pénétré dans l'élément de matière et la somme des énergies qui en sont ressorties.

D'après cette relation, dans le système international (S.I) de mesures, une dose absorbée se mesure en joule par kilogramme. L'unité légale est le **Gray** (symbole : Gy) et par définition :

1 Gray (Gy) = 1 Joule par kilogramme (J.kg <sup>-1</sup> )
--

### **1.4 Le débit de dose absorbée**

Le débit de dose absorbée; noté  $\overset{\circ}{D}$ , est la dose absorbée par unité de temps.

$$\overset{\circ}{D} = \frac{dD}{dt}$$

Dans le système international le débit de dose absorbée doit se mesurer en Gray par seconde (Gy.s<sup>-1</sup>). En pratique on utilise souvent des sous-multiples, comme les mGy.h<sup>-1</sup>, compte tenu des activités manipulées.

Si le débit de dose absorbée est constant dans l'intervalle de temps  $t$ , on peut écrire la relation :

$$D = \dot{D} \times t$$

**Exemple :**

Si le débit de dose absorbée, dû à l'ambiance, a un poste de travail est de  $0.3 \text{ mGy.h}^{-1}$ , et si le manipulateur y séjourne pendant 2 heures et 30 minutes, la dose absorbée par l'ensemble de son organisme est :

$$D = 0,3 \times 2,5 = 0,75 \text{ mGy}$$

## 2 NATURES ET CARACTÉRISTIQUES DES EFFETS LIÉS A L'EXPOSITION AUX RADIATIONS D'UN ORGANISME HUMAIN

Les différents effets qui peuvent résulter de l'exposition de l'être humain aux radiations ionisantes peuvent être classés en deux catégories :

- les effets à incidences déterministes ou non stochastiques
- les effets à incidences aléatoires ou stochastiques.

### 2.1 Les effets déterministes

Pour des doses élevées (supérieures à plusieurs Grays) ces effets sont observés chez tous les sujets exposés. Ce sont donc des effets **à seuil**.

Ils se déclarent en général de manière **précoce**, les temps de latence étant compris entre quelques jours et quelques mois.

Leur **gravité augmente avec la dose absorbée**.

On commence à observer certains effets déterministes aux alentours de 0,3 Gy pour des expositions partielles. Par contre pour des doses faibles, inférieures à une valeur seuil dépendant essentiellement du type d'effet biologique aucun effet n'est décelable. Pour une exposition globale on prend la valeur référence de 0,5 Gy comme valeur seuil.

A partir d'une certaine dose absorbée, pour une exposition globale, il y a un risque de décès (environ 2 gray).

On appelle la dose létale 50 % ( $DL_{50}$ ), la dose absorbée, pour l'organisme entier (donc une exposition globale), pour laquelle vous avez 50 % de chance de décéder soixante jours après l'exposition.

Cette valeur est de :  $DL_{50} = 4,5$  Gy

Généralement les effets déterministes se produisent dans le cas d'une exposition unique à fort débit de dose.

### 2.2 Les effets stochastiques

Ils comprennent l'induction de cancer chez les personnes exposées et les mutations génétiques affectant la descendance des individus exposés. Dans ce cas la gravité de l'effet demeure identique

quelle que soit la dose, seule **la probabilité d'apparition de l'effet** est fonction de la dose absorbée. En d'autres termes le pourcentage de sujets exposés chez qui on observe ce type d'effet augmente avec la dose.

Ces effets ne sont pas spécifiques à l'action des rayonnements ionisants, rien ne permet de distinguer un cancer ou une mutation radio induits. La seule façon de mettre en évidence ces phénomènes est de montrer que dans un groupe d'individus exposés la fréquence d'apparition des cancers ou des mutations génétiques est plus élevée que dans un groupe témoin composé de sujets ayant les mêmes caractéristiques (âge, sexe, ..) mais non exposés.

Le temps de latence (temps séparant l'exposition de l'apparition de l'effet) est en moyenne beaucoup plus long que pour les effets déterministes (plusieurs dizaines d'années).

Enfin on considère que la moindre dose de rayonnement est susceptible de provoquer ce type d'effets.

## 3 DOSE ÉQUIVALENTE

Il ne faudrait pas considérer, comme pourrait le laisser supposer la lecture des deux paragraphes précédents, que seule la dose absorbée intervient. En fait, le débit de dose, la nature et l'énergie du rayonnement ionisant interviennent également et les ordres de grandeur qui ont été donnés sont relatifs à des expositions de courte durée à des rayonnements électromagnétiques de quelques MeV. Pour une même dose absorbée, une exposition de courte durée (fort débit de dose) est plus pénalisante et les rayonnements alpha ou neutronique ont une "efficacité" biologique notablement plus grande que les rayonnements électroniques ou électromagnétiques.

Dans le domaine des faibles doses, toujours dans le cas d'une exposition globale (inférieures à 0,5 Gray environ), aucune influence du débit de dose n'a pu être mise en évidence. On a donc créé une grandeur qui rend compte de la nuisance biologique des rayonnements dans le cas des effets stochastiques.

La dose équivalente ( $H_T$ ) dans un tissu donné, produit de la dose absorbée moyenne pour l'organe ou le tissu T d'un rayonnement donné R ( $D_{T,R}$ ) par le facteur de pondération pour le rayonnement R ( $w_R$ ), est la grandeur directement proportionnelle au détrimement biologique.

$$H_T = D_{T,R} \cdot w_R$$

Lorsque le champ de rayonnement comprend des rayonnements de types et d'énergies correspondant à des valeurs différentes de  $w_R$ , la dose équivalente totale  $H_T$  est donnée par la formule :

$$H_T = \sum_R D_{T,R} \cdot w_R$$

L'unité de dose équivalente est le SIEVERT (Sv). En toute logique les unités qui devraient être utilisées sont les sous-multiples du Sievert : millisievert (mSv) et microsievert ( $\mu$ Sv).

Ayant attribué la valeur unité au facteur de pondération relatif au rayonnement électronique, le tableau suivant indique les valeurs relatives aux autres rayonnements.

Nature du rayonnement	$w_R$
$\beta$ , électrons, $\gamma$ , X	1
p	10
neutrons	de 5 à 20
$\alpha$	20

La "nuisance" biologique est donc vingt fois plus grande, à dose absorbée égale, pour un rayonnement  $\alpha$  que pour un rayonnement  $\gamma$ .

(rem: les alpha en contamination cutanée non fixée ont un facteur de pondération de 0)

Le débit de dose équivalente  $\dot{H}$  est habituellement exprimé en millisievert par heure ( $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ ) ou en microsievert par heure ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

## 4 OBJECTIFS LIÉS À LA FIXATION DE LIMITES POUR L'EXPOSITION INDIVIDUELLE

L'un des objectifs principaux de la radioprotection est de fixer des limites à l'exposition que peut subir chaque personne et notamment les travailleurs. Les valeurs de ces limites ont été établies dans le double but :

- d'empêcher l'apparition de tout effet déterministe en maintenant l'équivalent de dose reçu pendant toute la vie professionnelle au dessous de l'équivalent de dose du plus faible seuil ;
- de limiter l'apparition des effets stochastiques à un niveau "socialement acceptable", juste compromis entre le bénéfice que tire la société de l'utilisation de la radioactivité et des rayonnements ionisants et les nuisances qui en découlent.

Pour effectuer l'évaluation liée au second objectif il a fallu tout d'abord choisir un **indice de risque**. La précédente référence en matière d'indice de risque était la mesure d'une nuisance totale subie par un groupe et ses descendants à la suite d'une exposition à une source de radiations. L'indice prenait en compte le risque de cancer mortel pour les personnes exposées et le risque d'effets héréditaires sur la première génération de leurs descendants. Cette approche s'est révélée utile mais un peu trop limitée.

### 4.1 Le concept de détriment agrégatif

Le concept de **détriment agrégatif** a été développé dans le cas des effets stochastiques, de manière à prendre en compte non seulement les effets précédents, mais aussi d'autres effets nocifs des rayonnements.

Quatre composantes principales pour le détriment ont donc été retenues :

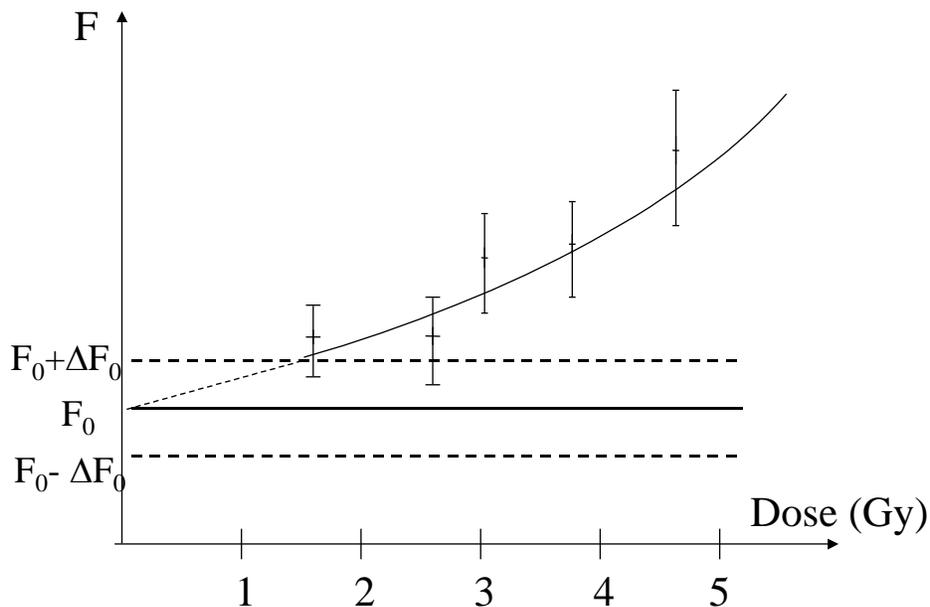
- le risque de **cancer mortel** dans tous les organes concernés
- une prise en compte des **différences dans les périodes de latence** qui conduisent à des valeurs différentes pour les prévisions de perte de vie dans le cas des cancers mortels relatifs aux différents organes.
- une prise en compte de la **morbidité** due à l'induction de **cancers non mortels**.
- une prise en compte du risque de maladie héréditaire grave dans **toutes les générations** futures qui descendront de l'individu exposé.

En dehors de l'expérimentation sur des animaux dont les résultats sont quantitativement difficiles à extrapoler à l'homme, les sources principales d'information ont été les survivants des bombes A de Hiroshima et Nagasaki (exposition globale), les sujets ayant subi un traitement radiothérapique (exposition partielle) et les travailleurs exposés du fait de leur activité professionnelle (radiologues, mineurs, ...).

C'est la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) qui évalue à partir des données d'Hiroshima Nagasaki les indices de risques. C'est elle qui a proposé le nouveau concept du détriment agrégatif, à la suite de l'apparition de nouvelles pathologies entre 1977 et 1990 chez les survivants exposés et de nouvelles études dosimétriques.

La CIPR a donc édité des recommandations allant dans un sens de précaution supplémentaire par rapport à ce qui existait, en différenciant notamment la population des travailleurs. En effet la fréquence d'apparition du cancer est différente entre une population de travailleurs (18 à 65 ans) de celle du public (0 à 122 ans, record à battre)

Quelle que soit l'origine des informations seules les expositions mettant en jeu des doses relativement élevées permettent d'observer un accroissement du risque statistiquement irréfutable, comme l'illustre schématiquement la courbe Dose-Réponse ci-après :



F : Fréquence d'apparition de l'effet

$F_0$  : Fréquence "naturelle" d'apparition de l'effet

$2 \Delta F_0$  : domaine des fluctuations statistiques de la fréquence naturelle

Aux faibles doses les fluctuations statistiques de la fréquence "naturelle" d'apparition d'un effet empêchent toute conclusion formelle. Il a donc été nécessaire de faire une hypothèse concernant la loi d'évolution dans ce domaine ; parmi les hypothèses raisonnables on a choisi celle qui maximise le risque :

**une relation de proportionnalité linéaire, sans seuil, entre l'accroissement de l'indice de risque choisi et l'équivalent de dose reçu.**

## 4.2 Le facteur de risque

Si la dose équivalente est répartie de manière uniforme sur l'ensemble du corps, il est possible de calculer une probabilité de cancer mortel en utilisant le coefficient de probabilité que l'on peut définir comme le "facteur de risque".

Si la répartition de la dose équivalente n'est pas uniforme, une utilisation de ce coefficient de probabilité total sera moins précise car les facteurs de pondération pour les tissus prennent en compte les effets héréditaires et les cancers non mortels.

Le "**facteur de risque**" est donc la pente de la droite représentant les variations de l'augmentation de l'indice de risque en fonction de la dose équivalente.

Dans le cas de l'**exposition globale** le facteur de risque (cancers mortels) retenu par la Commission Internationale de Protection Radiologique (C.I.P.R.) est pour la population et les travailleurs de :

$Fr_{pop} = 5.10^{-2}$ par Sv	$Fr_{tra} = 4.10^{-2}$ par Sv
-------------------------------	-------------------------------

Si on, prend maintenant le cas des cancers non mortels et des effets héréditaires sur plusieurs générations, on obtient un coefficient de probabilité (que par commodité on appelle facteur de risque) égal à :

$Fr_{pop} = 7,3.10^{-2}$ par Sv	$Fr_{tra} = 5,6.10^{-2}$ par Sv
---------------------------------	---------------------------------

### Exemples : Attention, il ne s'agit que de calculs probabilistes

❶ En supposant qu'un million de personnes (population d'un pays industrialisé) soit exposées à 5 mSv, calculons le nombre de cancers radio-induits et d'affections génétiques graves sur leurs descendants:

$$n = 10^6 \times 5.10^{-3} \times 7,3.10^{-2} = 365$$

Le résultat se décompose alors comme suit :

250 morts par cancer, 48 cancers qui seront non mortels et 67 atteintes génétiques sévères chez les descendants.

La fréquence d'apparition dite "naturelle" du cancer dans un pays industrialisé est égale à 28 %. Dans le même million de personnes qui a été exposé, 280 000 développeront un cancer au cours de leur vie. Ceci explique la grande difficulté à cerner un cancer radio-induit et donc la complexité des enquêtes épidémiologiques.

❷ En supposant que 20000 travailleurs soient exposés à 20 mSv le résultat est

$$n = 2.10^4 \times 2.10^{-2} \times 5,6.10^{-2} = 23$$

Le résultat se décompose alors comme suit :

16 morts par cancer, 4 cancers qui seront non mortels et 3 atteintes génétiques sévères chez les descendants.

# 5 NOTIONS SUR LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE

## 5.1 Les textes réglementaires

La réglementation nationale en matière de radioprotection est issue de directives européennes, elles mêmes inspirées par les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique. Cette démarche peut être illustrée par le schéma suivant :



En matière de réglementation européenne les directives européennes n° 96/29 du 13/5/96 et 97/43 du 30/6/97 sont inspirées des recommandations des publications n°60 et n°73 de la CIPR.

La réglementation actuelle en matière de radioprotection est composée de plusieurs textes :

**l'ordonnance 2001-270 du 28 mars 2001** qui fixe certains principes généraux relatifs au code de la santé publique, au code du travail et au code pénal. On peut noter que les grands principes de radioprotection sont rappelés dans le premier article de l'ordonnance.

### *JUSTIFICATION*

une activité nucléaire ou une intervention ne peut être entreprise que si son introduction ne produise un bénéfice net positif, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique.

### *OPTIMISATION*

toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché.

### *LIMITATION*

l'exposition d'une personne ne doit pas dépasser les limites fixées par voie réglementaire sauf dans le cas d'expositions à des fins médicales.

On peut noter également dans ce texte l'interdiction d'ajouter des substances radioactives à certains produits, l'obligation à un utilisateur de déclarer immédiatement un incident, l'obligation

pour l'utilisateur d'établir un plan d'urgence interne, les paramètres concernant l'acquisition et la reprise des sources radioactives et enfin la prise en compte de l'exposition à des substances radioactives naturelles.

**Des décrets d'applications** modificatifs ont été publiés en 2007. On trouve donc au total des textes importants :

- le décret 2001-1154 du 5 décembre 2001 relatif à l'obligation de maintenance et au contrôle de qualité des dispositifs médicaux
- le décret 2002-254 portant sur la création de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)
- le décret 2002-255 portant sur la création de la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (DGSNR)
  
- la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire
- le décret 2007-1582 du 7 novembre 2007 relatif à la protection générale des personnes contre les rayonnements ionisants, à la protection des personnes exposées à des rayonnements ionisants à des fins médicales et aux interventions en situation d'urgence radiologique et en cas d'exposition durable, a été intégré dans le code de la santé publique.
- le décret 2007-1570 du 5 novembre relatif à la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants a été intégré dans le code du travail. Le décret n°2008-244 du 7 mars 2008 vient de prendre en compte la nouvelle numérotation

## **5.2 Les nouveaux organismes nationaux**

La transformation de la radioprotection en France a commencé avec le regroupement des structures nationales de radioprotection et de sûreté nucléaire et la création de la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection et de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. La loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire a créé une autorité indépendante, l'autorité de sûreté nucléaire (ASN).

### **5.2.1 L'Autorité de Sûreté Nucléaire**

L'Autorité de sûreté nucléaire, autorité administrative indépendante, participe au contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection et à l'information du public dans ces domaines.

A ce titre elle est consultée sur les projets de décret et d'arrêté ministériel de nature réglementaire relatifs à la sécurité nucléaire. Elle peut prendre des décisions réglementaires à caractère technique pour compléter les modalités d'application des décrets et arrêtés pris en matière de sûreté nucléaire ou de radioprotection, à l'exception de ceux ayant trait à la médecine du travail. Ces décisions sont soumises à l'homologation des ministres chargés de la sûreté nucléaire pour celles d'entre elles qui sont relatives à la sûreté nucléaire ou des ministres chargés de la radioprotection pour celles d'entre elles qui sont relatives à la radioprotection. Les arrêtés d'homologation et les décisions homologuées sont publiés au Journal officiel.

Les décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire prises sur le fondement de l'article 29 sont communiquées aux ministres chargés de la sûreté nucléaire.

L'ASN assure le contrôle du respect des règles générales et des prescriptions particulières en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection auxquelles sont soumis les installations nucléaires de base définies à l'article 28, la construction et l'utilisation des équipements sous pression spécialement conçus pour ces installations, les transports de substances radioactives ainsi que les activités mentionnées à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique et les personnes mentionnées à l'article L. 1333-10 du même code.

L'autorité organise une veille permanente en matière de radioprotection sur le territoire national.

Elle désigne parmi ses agents les inspecteurs de la sûreté nucléaire, les inspecteurs de la radioprotection et les agents chargés du contrôle du respect des dispositions relatives aux équipements sous pression. Elle délivre les agréments requis aux organismes qui participent aux contrôles et à la veille en matière de sûreté nucléaire ou de radioprotection.

L'Autorité de sûreté nucléaire participe à l'information du public dans les domaines de sa compétence.

L'ASN est associée à la gestion des situations d'urgence radiologique résultant d'événements de nature à porter atteinte à la santé des personnes et à l'environnement par exposition aux rayonnements ionisants et survenant en France ou susceptibles d'affecter le territoire français. Elle apporte son concours technique aux autorités compétentes pour l'élaboration, au sein des plans d'organisation des secours, des dispositions prenant en compte les risques résultant d'activités nucléaires prévues aux articles 14 et 15 de la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile. Lorsque survient une telle situation d'urgence, elle assiste le Gouvernement pour toutes les questions de sa compétence. Elle adresse aux autorités compétentes ses recommandations sur les mesures à prendre sur le plan médical et sanitaire ou au titre de la sécurité civile. Elle informe le public de l'état de sûreté de l'installation à l'origine de la situation d'urgence, lorsque celle-ci est soumise à son contrôle, et des éventuels rejets dans l'environnement et de leurs risques pour la santé des personnes et pour l'environnement.

Les avis rendus par l'ASN sont réputés favorables s'ils ne sont pas rendus dans un délai de deux mois. Ce délai peut être réduit, en cas d'urgence motivée, par l'autorité administrative saisissant l'Autorité de sûreté nucléaire. Un décret en Conseil d'Etat fixe les délais au-delà desquels les avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, requis obligatoirement en application d'une autre disposition de la présente loi, sont réputés favorables en l'absence d'une réponse explicite.

L'Autorité de sûreté nucléaire rend publics ses avis et décisions délibérés par le collège dans le respect des règles de confidentialité prévues par la loi.

L'Autorité de sûreté nucléaire établit un rapport annuel d'activité qu'elle transmet au Parlement, qui en saisit l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, au Gouvernement et au Président de la République. A la demande des commissions compétentes de

l'Assemblée nationale et du Sénat ou de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le président de l'Autorité de sûreté nucléaire leur rend compte des activités de celle-ci. A la demande du Gouvernement, des commissions compétentes de l'Assemblée nationale et du Sénat ou de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, l'Autorité de sûreté nucléaire formule des avis ou réalise des études sur les questions relevant de sa compétence. A la demande des ministres chargés de la sûreté nucléaire ou de la radioprotection, elle procède à des instructions techniques relevant de sa compétence.

L'ASN adresse au Gouvernement ses propositions pour la définition de la position française dans les négociations internationales dans les domaines de sa compétence. Elle participe, à la demande du Gouvernement, à la représentation française dans les instances des organisations internationales et communautaires compétentes en ces domaines. Pour l'application des accords internationaux ou des réglementations de l'Union européenne relatifs aux situations d'urgence radiologique, l'Autorité de sûreté nucléaire est compétente pour assurer l'alerte et l'information des autorités des Etats tiers ou pour recevoir leurs alertes et informations.

L'Autorité de sûreté nucléaire est constituée d'un collège de cinq membres nommés par décret (décret du 8 novembre 2006) en raison de leur compétence dans les domaines de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Trois des membres, dont le président, sont désignés par le Président de la République. Les deux autres membres sont désignés respectivement par le président de l'Assemblée nationale et par le président du Sénat.

L'Autorité de sûreté nucléaire dispose de services placés sous l'autorité de son président. Elle organise l'inspection de la sûreté nucléaire et celle de la radioprotection.

Elle peut employer des fonctionnaires en position d'activité et recruter des agents contractuels. L'Autorité de sûreté nucléaire peut bénéficier de la mise à disposition, avec leur accord, d'agents d'établissements publics comme l'IRSN.

### **5.2.2 L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire**

La loi n°2001-398 du 9 mai 2001 créant une Agence de sécurité sanitaire environnementale, prévoit aussi à son article 5 la création d'un Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) par fusion de l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI) et de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) coupé du CEA auquel il était rattaché.

L'IRSN sera un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC).

L'IRSN exercera des missions d'expertise et de recherche dans les domaines de la sûreté nucléaire, de la sûreté des transports de matières radioactives et fissiles à usage civil, de la protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants, de la protection et du contrôle des matières nucléaires et des produits susceptibles de concourir à la fabrication d'armes, et de la protection des installations et transports contre les actes de malveillance, à l'exclusion de toute responsabilité d'exploitant nucléaire. L'IRSN sera donc un des appuis techniques de l'ASN et des

départements ministériels qui en feront la demande pour tout ce qui concerne la sûreté nucléaire et la radioprotection.

L'IRSN continuera à exercer une partie des missions de l'OPRI comme la surveillance dosimétrique des travailleurs.

### 5.2.3 Autres organismes

Il existe un grand nombre d'autres organismes, à vocation d'assistance, de prévention, de contrôle ... On peut citer, entre autres :

CSSIN - Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaires, attributions dans tous les secteurs qui relèvent de la sécurité nucléaire au sens large.

CNAM - CRAM -. Caisses Nationale ou Régionales d'Assurance Maladie, gestion de la politique de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

INRS - Institut national de recherche et de sécurité. assistance à toute personne en matière de prévention.

DSC - Direction de la sécurité civile. Coordination et mise en œuvre des moyens de secours

Différents contrôles d'origine externe :

IT - Inspection du travail. Contrôle des conditions d'hygiène et de sécurité

DRIRE - Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (ex. Mines).

Inspecteurs des Installations classées pour la protection de l'environnement.

Les organismes privés agréés - organismes auxquels l'employeur fait appel (éventuellement sur mise en demeure de l'inspecteur du travail) pour effectuer des contrôles réglementaires, parmi lesquels on peut citer, entre autres, dans le domaine relatif aux rayonnements ionisants : APAVE , OAR, AIF, CERAP, SGS QUALITEST, etc...

## **5.3 L'Employeur et la Personne Compétente**

L'employeur doit remettre une notice d'information écrite à tout travailleur affecté dans la zone contrôlée ou appelé à y pénétrer occasionnellement et portant sur :

- les dangers présentés par l'exposition aux rayonnements ionisants
- les dangers présentés par son poste de travail
- les moyens mis en œuvre pour s'en prémunir
- les méthodes de travail offrant les meilleurs garanties de sécurité
- les garanties que comportent pour lui les mesures physiques et les examens médicaux périodiques

Cette information doit être renouvelée par le médecin du travail auprès des femmes dont la grossesse lui a été déclarée. Ce dernier délivre également l'aptitude aux travaux sous rayonnements et, en concertation avec la Personne Compétente en radioprotection, classe la personne dans une catégorie de travailleurs (voir chapitre 9). Il a également en charge le suivi dosimétrique des personnels.

Le service compétent ou la personne compétente désignée par l'employeur doit assurer la radioprotection, en application des articles R. 4456-1 à 12 du code du travail.

L'aptitude permanente du service compétent ou de la personne compétente à remplir ses missions relève de la responsabilité de l'employeur qui prend après avis du comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ou, à défaut des délégués du personnel, .les mesures destinées à actualiser ses connaissances.

Ils ont pour principales tâches :

- l'étude des postes de travail et le recensement des situations "à risques".
- la rédaction d'une fiche sur les conditions de travail de la personne exposée. Celle-ci sera transmise au médecin du travail pour qu'il effectue le classement de la personne.
- la surveillance radiologique des locaux et du personnel (contrôle d'exposition externe, de contamination, d'ambiance, etc...).
- l'élaboration d'un plan de prévention.
- la formation et l'information de toute personne susceptible d'intervenir en présence de source radioactives.

La personne compétente doit également veiller au respect du "système de protection" reposant sur trois principes de base précisé par l'ordonnance 2001-270.

## 6 LES LIMITES D'EXPOSITION

D'après les recommandations de la C.I.P.R, en limitant à **500 mSv** l'exposition "annuelle" d'un tissu ou organe on se prémunit contre l'apparition de tout effet déterministe exception faite de la cataracte, le cristallin étant un organe plus radiosensible.

La limite de **100 mSv sur 5 ans** associée à la recommandation de "maintenir les expositions au plus bas niveau raisonnablement possible" vise à réduire l'apparition des effets stochastiques à **un niveau socialement acceptable**.

Dans le cas d'une exposition pour les travailleurs, la réglementation française a fixé pour une durée de *12 mois consécutifs* les limites suivantes :

EXPOSITION GLOBALE	Organisme entier	$E_{12} = 20 \text{ mSv}$
EXPOSITION PARTIELLE	Peau Extrémités (mains, pieds,..) Cristallin	$H_{12} = 500 \text{ mSv}$ $H_{12} = 500 \text{ mSv}$ $H_{12} = 150 \text{ mSv}$

Le cristallin étant plus radiosensible, il y a une limite plus faible.

L'ensemble de ces limites s'applique indifféremment aux travailleurs exposés des deux sexes âgés de plus de 18 ans. En ce qui concerne les femmes enceintes, l'exposition reçue par l'abdomen entre la **déclaration de grossesse et l'accouchement** devra être aussi réduite que possible et dans tous les cas rester inférieure à 1 mSv.

Une exposition globale est rarement homogène à l'intérieur de l'organisme. La dose absorbée par les tissus varie en fonction de la profondeur.

Afin de simplifier la surveillance dosimétrique externe on a choisi des profondeurs de référence correspondant à l'épaisseur de tissus sous laquelle la valeur prise par la dose absorbée dans le tissu ou l'organe considérés est maximale. Ces valeurs sont les suivantes :

- profondeur : 10 mm
- cristallin : 3 mm
- peau : 70  $\mu\text{m}$

Ainsi, sous réserve du bon choix et du bon étalonnage des dosimètres utilisés la mesure des valeurs des "indices de doses" aux profondeurs de référence indiquées ci-dessus garantissent que les expositions réellement subies par l'organisme entier "en profondeur" par le cristallin et par la peau sont inférieures ou égales à la limite égales à ces valeurs. Actuellement certains dosimètres effectuent une mesure de l'indice de dose en profondeur en prenant pour référence le cristallin.

Dans le cas d'une exposition pour le public, la réglementation française a fixé pour une durée de *12 mois consécutifs* les limites suivantes :

EXPOSITION GLOBALE	Organisme entier	$E_{12} = 1 \text{ mSv}$
EXPOSITION PARTIELLE	Peau Extrémités (mains, pieds,..) Cristallin	$H_{12} = 50 \text{ mSv}$ $H_{12} = 50 \text{ mSv}$ $H_{12} = 15 \text{ mSv}$

En ce qui concerne l'exposition interne les calculs peuvent s'avérer complexes.  
Il convient de donner quelques éléments précisant ces calculs.

## 7. DOSE EQUIVALENTE ENGAGEE

Comme nous l'avons signalé au paragraphe I l'exposition des tissus résultant d'une incorporation ne cesse que lorsque la substance radioactive a complètement disparu. On désigne par DOSE EQUIVALENTE ENGAGEE *la dose équivalente qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou, à défaut, en 50 ou 70 ans par un organe, un tissu, ou l'organisme entier.*

Dans le cas le plus fréquent, la dose équivalente engagée, que l'on note  $H_T(\tau)$ , représente la dose équivalente délivrée jusqu'à disparition complète du contaminant (période effective de l'ordre de quelques jours). La dose efficace engagée, que l'on note  $E(\tau)$ , représente la dose efficace délivrée jusqu'à disparition complète du contaminant.

$$H_T(t) = \int_0^{\tau} H_{0T} \times dt$$

t fait référence à 50 ou 70 ans et T aux tissus exposés.

Les limites réglementaires d'exposition interne, résultant de l'incorporation de radionucléide par inhalation ou ingestion, exprimées en unité de dose efficace par becquerel incorporé ( $Sv.Bq^{-1}$ ) sont des grandeurs très difficilement accessibles d'un point de vue pratique. Elles sont définies, dans le cas des travailleurs, pour des formes physico-chimiques et des granulométries différentes (DPUI).

Le calcul des doses internes est du ressort du médecin du travail. Cela prend parfois plusieurs semaines avant d'obtenir le résultat. Cela dépend notamment des radionucléides mis en jeu (cas des analyses longues pour les émetteurs alpha). Pour des raisons pratiques, nous proposons que les agents des services de radioprotection, ainsi que les personnes compétentes puissent effectuer une estimation rapide des doses reçues par des travailleurs exposés.

Par exemple, dans le cas de l'inhalation, on peut distinguer trois formes physico-chimiques au niveau du transfert des produits dans le corps vers l'organe cible :

- F : fast (rapide)
- M : médium (moyenne)
- S : slow (lente)

En pratique, l'exposition interne relève de la situation accidentelle, l'incorporation chronique, en l'absence de toute exposition externe, durant toute la vie professionnelle doit, bien entendu, rester un "cas d'école".

A noter que l'exposition peut résulter de l'exposition interne seule, mais aussi de L'EXPOSITION INTERNE PLUS L'EXPOSITION EXTERNE. Il faudra alors composer les deux types d'exposition pour ne pas dépasser sur douze mois consécutifs une dose efficace totale (somme de l'exposition externe plus l'exposition interne) de 20 mSv.

Les grandeurs qui vont donc être définies dans les différents exemples ci-après ne tiennent compte que de l'exposition interne. ELLES DEVRONT DONC ÊTRE MODULÉES en fonction des expositions.

Il convient avant d'engager ces calculs dans les installations d'avoir une idée précise de la granulométrie des aérosols pouvant être présents dans l'air. Ceci nécessite d'avoir réalisé une analyse sur les modes de production (effet mécanique, calorifique,...) la ventilation des locaux (aspiration, soufflage, zones mortes,...).

S'il est impossible d'obtenir ces informations, il convient d'utiliser la valeur la plus restrictive des DPUI.

## 8. REPERE EN CONCENTRATION ATMOSPHERIQUE

En ce qui concerne la mesure de l'activité dans l'air ou contamination atmosphérique, il faut pouvoir comparer des becquerels par mètre cube mesurés à un coefficient de dose par unité d'incorporation en sievert par becquerel car l'activité incorporée, inhalée ou ingérée est évaluée en fonction de la dose efficace engagée par unité d'activité incorporée (DPUI) selon une méthode fixée par arrêté.

Ceci nous apparaît comme délicat. La connaissance de l'activité susceptible d'être incorporée est une grandeur peu opérationnelle. La principale voie d'incorporation sur les lieux de travail étant l'inhalation (présence d'aérosols ou de gaz), il nous semble plus opportun de substituer aux DPUI des **activités volumiques de radionucléides dans l'air respiré sur les lieux de travail, moyennées sur l'année.**

Il est à noter que l'ensemble des moniteurs de contamination atmosphérique qui prélèvent et analysent l'air en continu dans les locaux nucléaires sont réglés sur ces variations d'activité volumique ou ces variations d'activité volumique en un temps donné. pour les appareils hors industrie nucléaire, le contrôle est, en général, fait a posteriori.

Afin de garder des repères pratiques pour les "radioprotectionnistes", nous proposons de définir une concentration (activité volumique) permettant de connaître l'importance d'un incident.

Ceci impose de "modéliser" l'incorporation de l'individu ; les valeurs de base utilisées pour déterminer les valeurs en activité volumique pourraient être :

- débit respiratoire de l'individu au travail :  $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Exemple pour le strontium 90

La DPUI la plus restrictive est égale à  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$

L'activité en becquerels qui engendre une dose efficace de  $25 \text{ } \mu\text{Sv}$  sur une heure d'exposition est égale à :

$$A = \frac{0,000025 \text{ Sv}}{1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}} = 166 \text{ Bq}$$

Ce qui fait qu'être exposé pendant une heure à une activité volumique de

$$A_v = \frac{166}{1,2} = 140 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ engendre une dose efficace de } 25 \text{ } \mu\text{Sv}.$$

Dans le cas des gaz radioactifs, on peut distinguer trois voies d'exposition de l'organisme :

- exposition externe globale de l'organisme et des cristallins, le corps baignant dans une ambiance émettant des rayonnements ionisants.
- l'exposition de l'organisme due au gaz contenu dans le volume pulmonaire (gaz transitant dans l'organisme).
- l'exposition interne par incorporation du gaz.

# 9 LES CATEGORIES DE TRAVAILLEURS EXPOSES, LE CLASSEMENT DES ZONES DE TRAVAIL

## 9.1 Classement des travailleurs

Tout travailleur dont l'exposition est susceptible de dépasser 1/10 de l'une des limites "annuelles" indiquées dans le paragraphe 6 ou 1 mSv en exposition globale, doit être classé par l'employeur dans l'une des deux catégories suivantes :

les travailleurs susceptibles de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an ou une dose équivalente supérieure aux trois dixièmes des limites annuelles d'exposition sont classés par le chef d'établissement dans la catégorie A, après avis du médecin du travail.

Les personnes mentionnées aux articles D. 4152-6 à 7 et D. 4153-33 à 34 ne peuvent être affectées à des travaux qui requièrent un classement en catégorie A.

Les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B. A noter que les travailleurs susceptibles de ne pas être exposés à plus de 1 mSv (en dose efficace) dans des conditions normales de travail peuvent être considérés comme des travailleurs non exposés.

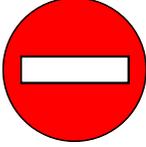
L'exposition professionnelle aux radiations est interdite au-dessous de 18 ans. Une exception a été faite pour les apprentis âgés de 16 à 18 ans qui se destinent à une profession dans l'exercice de laquelle ils seront exposés. Cette exposition liée à la formation professionnelle ne peut excéder celle reçue par un travailleur classé catégorie B.

Le but essentiel de cette classification est de distinguer les travailleurs les plus exposés afin de renforcer leur surveillance dosimétrique et médicale.

Il convient de ne pas oublier les limites d'exposition partielles pour le classement des travailleurs.

La notion de "conditions habituelles de travail" impose d'apprécier la part des expositions potentielles qui doivent être incluses dans la définition de ces conditions habituelles : une exposition résultant d'un incident à probabilité d'apparition élevée sera naturellement à prendre en compte.

En résumé on peut tracer le tableau ci-dessous :

1/10 des limites annuelles ou 1 mSv		3/10 des limites annuelles	1 limites annuelles
personnes du public  travailleurs non exposés	travailleurs de catégorie B étudiants apprentis âgés de 16 à 18 ans (1)	travailleurs de catégorie A	

A noter que les différences d'un point de vue suivi dosimétrique et suivi médical s'amenuisent entre les deux catégories de travailleurs.

**L'obligation du suivi dosimétrique passif mensuel pour les catégories A vient d'être reprise par l'arrêté du 30 décembre 2004. A noter que la dosimétrie est aussi fonction de la zone de travail. Pour les catégories B le suivi sera trimestriel.**

Cette évaluation ne concerne que les expositions professionnelles. **Il n'est absolument pas question, sous peine de sanction, d'exposer son dosimètre volontairement, ou de ne pas le porter.** De même les expositions médicales ne peuvent être mesurées avec ce dosimètre.

## **9.2 Classement des zones de travail**

Après avoir procédé à une évaluation des risques et recueilli l'avis de la personne compétente en radioprotection (mentionnée aux articles R. 4456-1 à 12 du code du travail), tout chef d'établissement détenteur, à quelque titre que ce soit, d'une source de rayonnements ionisants délimite, au vu des informations délivrées par le fournisseur de la source, autour de la source :

- 1° Une zone surveillée dès lors que les travailleurs sont susceptibles de recevoir, dans les conditions normales de travail, une dose efficace dépassant 1 mSv par an ou bien une dose équivalente dépassant un dixième de l'une des limites fixées à l'article R. 4451-13 ;
- 2° Une zone contrôlée dès lors que les travailleurs sont susceptibles de recevoir, dans les conditions normales de travail, une dose efficace de 6 mSv par an ou bien une dose équivalente dépassant trois dixièmes de l'une des limites fixées à l'article R. 4451-13. Son accès est réservé aux personnes à qui a été remise la notice prévue à l'article R. 4453-9. Les salles de repos ne doivent pas être incluses dans la zone contrôlée.

A l'intérieur de la zone contrôlée et lorsque l'exposition est susceptible de dépasser certains niveaux fixés, compte tenu notamment des débits de dose et de la contamination radioactive, par arrêté des ministres chargés de l'industrie, du travail et de l'agriculture, pris après avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, le chef d'établissement prend toutes dispositions pour que soient délimitées des zones spécialement réglementées ou interdites. Ces zones font l'objet d'une signalisation distincte et de règles d'accès particulières.

					
Zone	Zone surveillée	Zone contrôlée verte	Zone jaune	Zone orange	Zone rouge
Débit d'équivalent de dose pour l'organisme entier ou dose	< 7,5 $\mu$ Sv/h sur une heure d'exposition	< 25 $\mu$ Sv/h sur une heure d'exposition	< 2 mSv sur une heure d'exposition	< 100 mSv sur une heure d'exposition	> 100 mSv sur une heure d'exposition
Dose efficace pour l'organisme entier (exposition interne)	< 7,5 $\mu$ Sv sur une heure d'exposition	< 25 $\mu$ Sv sur une heure d'exposition	< 2 mSv sur une heure d'exposition	< 100 mSv sur une heure d'exposition	> 100 mSv sur une heure d'exposition
Débit d'équivalent de dose pour les extrémités ou doses	< 0,2 mSv/h	< 0,65 mSv/h	< 50 mSv sur une heure d'exposition	< 2500 mSv sur une heure d'exposition	> 2500 mSv sur une heure d'exposition
				Interdit CDD intérim	Interdit CDD intérim

Le chef d'établissement s'assure que la zone contrôlée ou la zone surveillée est toujours convenablement délimitée. Il apporte, le cas échéant, les modifications nécessaires à la délimitation de la zone au vu des résultats des contrôles effectués en application des articles R. 4452-12 à 16 et après toute modification apportée à l'installation, à son mode d'utilisation ou à celui des sources, à l'équipement ou au blindage, ainsi qu'après tout incident ou tout accident. L'arrêté du 26 octobre 2005 prévoit la liste des contrôles à effectuer.

Chaque travailleur appelé à intervenir en zone surveillée ou en zone contrôlée fait l'objet d'un suivi dosimétrique assuré par des mesures individuelles de l'exposition externe, appelées dosimétrie passive et, le cas échéant, par des mesures permettant d'évaluer l'exposition interne.

En cas de dépassement de l'une des valeurs limites d'exposition fixées, le médecin du travail et l'employeur en sont immédiatement informés par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ou par l'organisme de dosimétrie agréé. Le médecin du travail en informe le salarié concerné.

Tout travailleur intervenant en zone contrôlée fait l'objet d'un suivi par dosimétrie opérationnelle. La personne compétente en radioprotection communique périodiquement, sous leur forme nominative, à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, les résultats de la dosimétrie opérationnelle pour chaque travailleur exposé.

Si le risque n'était dû qu'au tritium par exemple, le film dosimètre et le dosimètre opérationnel s'avèreraient inutiles. En effet les rayonnements bêta de très faible énergie ne peuvent impressionner le film. Il résulte que le port de ce type de dosimètre, même pour un travailleur de catégorie A affecté en zone contrôlée, n'est pas toujours obligatoire.

Il résulte des définitions précédentes qu'un travailleur classé en catégorie B ne peut oeuvrer que temporairement en zone contrôlée.

# 10. LES MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection doivent permettre de réduire les expositions subies par les travailleurs et l'environnement au niveau le plus faible que l'on puisse raisonnablement atteindre.

Si plusieurs pratiques sont en compétition, une analyse détaillée coûts-avantages devra être effectuée afin de dégager la pratique optimum : le coût comprenant la somme de tous les aspects négatifs (notamment les charges financières directes, les atteintes à la santé ou à l'environnement), l'avantage, la somme de tous les aspects positifs.

En pratique, s'il est généralement impossible de réduire au niveau zéro l'exposition externe dès l'instant où l'on travaille sur des substances radioactives, il est également admis que, **sauf exception notoire**, l'exposition interne ne peut résulter que d'une situation incidentelle ou accidentelle.

## 10.1 Les moyens de protection contre l'exposition externe

La dose absorbée par un individu étant le produit du débit de dose par le temps de présence, la protection contre l'exposition externe est en général une combinaison de trois paramètres : **éloignement des sources, écrans interposés** (paramètres agissant sur le débit de dose), et **temps d'exposition**. Elle est réalisée, en particulier, par :

- le blindage des sources,
- la disposition d'obstacles physiques empêchant une approche excessive des sources,
- l'utilisation d'écrans mobiles adaptés à la nature des rayonnements,
- l'emploi d'appareils permettant d'effectuer les manipulations à distance

### **Rappel :**

Pour les rayonnements particuliers, un écran matériel arrête totalement les rayonnements

Feuille de papier pour le rayonnement  $\alpha$

1 cm de plexiglas pour le rayonnement  $\beta$

Pour les rayonnements électromagnétiques (X ou  $\gamma$ ) on ne peut qu'avoir une atténuation d'autant plus importante que l'écran a un numéro atomique élevé.

### **A éviter :**

L'écran en matériau lourd pour arrêter le rayonnement  $\beta$  (risque de rayonnement de freinage).

.

### **Rappel :**

Pour les rayonnements électromagnétiques, la dose absorbée ou le débit de dose absorbée varient en fonction de l'inverse du carré de la distance (loi en  $1/d^2$ ).

## **10.2 Les moyens de protection contre l'exposition interne**

Les moyens visant à empêcher l'incorporation des radionucléides sont de deux natures : physiques et réglementaires.

### **10.2.1 Les moyens réglementaires de protection contre l'exposition interne**

Dans tout local où sont manipulées des sources radioactives non scellées une disposition du règlement intérieur de l'établissement doit **interdire** :

- le pipetage des solutions à la bouche,
- l'introduction de nourriture, de boisson, de gomme à mâcher et de tout ustensile pour manger ou boire,
- l'introduction de cigarettes, de tabac et de tout article pour fumer (ou même priser..),
- l'utilisation de mouchoirs personnels. L'employeur est tenu de fournir des mouchoirs en papier.

### **10.2.2 Les moyens physiques de protection contre l'exposition interne**

Pour l'inhalation, ils résident avant tout dans le *confinement de la source*. Même si les locaux de travail sont ventilés (avec filtration de l'air et cascades de dépression entre les différentes zones) ce n'est que pour faire face à un accident de contamination atmosphérique. On se place du point de vue de la sûreté des installations.

En cas d'intervention ou de travaux nécessitant une rupture de confinement, toutes les dispositions doivent être prises pour qu'un confinement provisoire soit réalisé (tente en vinyle par exemple) et qu'il soit correctement ventilé.

L'ensemble des dispositifs précédents sont liés à la protection **collective**. Mais ces moyens englobent également les dispositifs **individuels** de protection des voies respiratoires, étant entendu que ces équipements sont réservés aux situations incidentelles ou accidentelles et qu'il serait parfaitement anormal qu'ils soient utilisés en permanence dans les conditions habituelles de travail.

Pour l'ingestion, ils comprennent une éducation gestuelle visant à réprimer les gestes réflexes tels que, par exemple, porter les doigts au nez ou à la bouche en cours de travail alors que l'on est porteur de gants contaminés.

### **10.3 Les moyens de protection contre la contamination corporelle externe**

Les moyens de protection contre la contamination corporelle externe peuvent se diviser en deux catégories :

- les moyens directs : tenue vestimentaire appropriée à la nature du travail et tout particulièrement **port de gants jetables adaptés**, *la manipulation des sources non scellées à main nue étant interdite*.

Education gestuelle pour travailler en limitant au maximum la contamination des gants, pour surveiller le niveau de contamination en cours de travail et pour savoir retirer des gants souillés sans risque de se contaminer les mains ou les poignets.

- les moyens indirects : ce sont tous les procédés utilisés pour lutter contre la contamination surfacique, donc contre la dissémination tels que le confinement des sources, la limitation des déplacements des sources, le respect des consignes de travail dans les différentes zones (en particulier les tenues vestimentaires), l'aménagement du lieu de travail, les contrôles fréquents de non contamination et l'emploi de surfaces lisses et imperméables permettant une décontamination aisée en cas d'accident.

# 11 GESTION DES SOURCES ET DECHETS RADIOACTIFS

L'ensemble des produits radioactifs (sources ou déchets) ne doit pas être stocké dans les lieux de travail à séjour permanent du personnel.

## 11.1 Les sources radioactives

L'ancienne réglementation précisait les conditions de stockage des sources non scellées.

"Celles-ci doivent être stockées dans des réipients appropriés (étanchéité blindage) entreposés dans une enceinte spéciale fermant à clef, isolée des lieux de travail à séjour permanent et dont l'accès doit être réglementé par l'employeur (consignes affichées). La présence des substances radioactives doit être signalée (balisage), aussi bien, sur les réipients de stockage que sur l'enceinte"

En pratique, il est admis de stocker 10 fois l'activité maximum autorisée à manipuler.

"..... ne devaient être prélevées sur les stocks que les quantités de substances radioactives indispensables à l'exécution des travaux envisagés".

## 11.2 Les déchets radioactifs

Crée au sein du CEA le 7/11/79, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, l'ANDRA est chargée de la collecte des déchets radioactifs. C'est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial depuis 1991.

L'ANDRA gère les centres de stockage existant et mène des recherches pour l'implantation de nouveaux sites (en particulier le stockage longue durée). L'ANDRA ne stocke que les déchets français.

L' EDF, le CEA et la COGEMA représentent à eux trois 95 % des déchets. Pour le cycle du combustible on peut classer les déchets en plusieurs catégories :

Haute activité

Déchets alpha

Faible activité et Très faible activité (**filières existantes**).

Ceci repose sur un principe de sûreté. On doit réaliser un confinement entraînant l'exposition la plus faible possible pour les populations.

Les méthodes de conditionnement actuelles sont :

Résidus effluents : Bitume  
 Déchets bêta-gamma : Ciment  
 Résines : Enrobage résines  
 Déchets Haute Activité : Vitrification

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.

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

Pour les déchets produits hors des installations nucléaires, ils sont réglementés par l'arrêté du 23 juillet 2008 (homologation de la décision n° 2008-DC-0095 de l'ASN du 29 janvier 2008). Il est basé sur les seuils d'exemption d'autorisation de détention de sources.

C'est ce que l'on nomme également, les déchets des petits producteurs.

Il y a donc obligation pour le chef d'établissement :  
 d'écrire un plan de gestion des déchets approuvé par l'ASN.  
 d'avoir un système de contrôle en sortie de site  
 de prévoir une zone contrôlée pour l'entreposage des déchets

Ceci est également prévu par le code de la santé publique dans l'article R. 1333-12.

Pour les effluents liquides, il y a des contrôles à faire avant la sortie du site. Les valeurs à la sortie des émissaires

100 Bq/l pour l'iode 131  
 7 Bq/l pour les autres radionucléides

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

- caractéristiques des radionucléides contaminant ces déchets
- formes et propriétés physico-chimiques des déchets.

Les déchets ou résidus radioactifs doivent être recueillis dans des récipients spéciaux dans l'attente de leur traitement aux fins d'élimination.

- sacs vinyle
- poubelles blindées
- fûts métalliques fermés
- bonbonnes (polyéthylène ou inox), cuves en acier inox.

Les déchets doivent être stockés dans un local réservé. Ils sont en attente d'évacuation ou pour ceux dont la période radioactive du contaminant est courte en attente de retour en catégorie "déchets très faiblement radioactifs" (après décroissance radioactive).

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)

## 11.3 Classification par catégorie des déchets "petits producteurs"

### 11.3.1 Critère radioactif

Les déchets sont classés en catégories selon la période des radionucléides contaminants, type I, II ou III.

- **Déchets type I**

Ce sont des déchets radioactifs, contaminés exclusivement par des radioéléments de périodes très courtes ( $T < 6$  jours). Il convient donc d'effectuer un tri minutieux.

Si l'activité initiale de ces déchets n'est pas trop élevée, celle-ci devient négligeable au bout de 2 mois (réduction d'un facteur 1 000).

Exemple de radionucléides utilisé :  $^{99m}\text{Tc}$  (période = 6 h)

- **Déchets, type II**

Ce sont des déchets radioactifs contaminés exclusivement par des radioéléments de périodes courtes ( $T < 100$  jours).

Les mêmes remarques sont applicables pour ce cas. Le temps de stockage est cette fois de 1000 jours (environ 3 ans) pour avoir une réduction d'un facteur 1 000, ce qui nécessite d'avoir la place de stocker ces déchets.

Exemples de radionucléides utilisés.

Exemple de radionucléides utilisé :  $^{131}\text{I}$  (période = 8 j)

- **Déchets type III**

Ce sont les déchets contaminés par des radioéléments de périodes longues ( $T > 100$  jours). Il est donc impossible de les stocker pour qu'ils décroissent. Ils doivent donc être considérés comme radioactifs.

Exemple de radionucléides utilisé :  $^3\text{H}$  (période = 12,3 a)

Les déchets de type III doivent être pris en charge par l'ANDRA à l'issue d'un tri par catégorie sur les lieux même de production. On prend alors en compte le critère physico-chimique du produit radioactif.

### 11.3.2 Critère physico-chimique

Le respect de cette sélection supplémentaire permet d'assurer une sécurité maximale aux agents appelés à traiter ces déchets. Ceci entraîne d'ailleurs une diminution des coûts d'élimination.

L'ANDRA a défini les critères suivants :

- |                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| - solides à incinérer :              | SP        |
| - solides compressibles :            | SC        |
| - solides putrescibles :             | SO        |
| - liquides aqueux :                  | LA        |
| - liquides organiques incinérables : | LS        |
| - huiles :                           | LH        |
| - flacons de scintillation :         | SL et SLA |

Dans chaque catégorie, il existe des spécifications bien précises ainsi que des sous-divisions. La brochure "Guide d'enlèvement des déchets radioactifs" donne également les types d'emballages à utiliser, les précautions indispensables à prendre avant enlèvement et des renseignements complémentaires.

La personne compétente a pour mission d'expliquer, d'organiser et de contrôler la gestion des déchets.

Il faut insister sur le fait que la bonne gestion des déchets radioactifs, doit s'effectuer dès leur production, c'est-à-dire au niveau du laboratoire.

Exemple : conditionner les déchets contaminés avec de l'iode avant de les mettre en fût, car l'iode étant très volatil, ils pourraient être sources de contamination atmosphérique.

Le tri des déchets permet de se prémunir également des risques infectieux, toxiques ou chimiques.

# BIBLIOGRAPHIE

- Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique - Publication C.I.P.R 103 - IRSN.

- Journal officiel de la République Française

L'ASN ([www.asn.fr](http://www.asn.fr)) met en ligne sur son site les textes réglementaires.

- Principes de radioprotection – réglementation pour les personnes compétentes en radioprotection (H. Métivier, C. Jimonet et al) – 2<sup>ème</sup> édition 2009

- Radionucléides et radioprotection - D.DELACROIX, J-P.GUERRE, P.LEBLANC - Editions CEA - 1993

- Contrôle : revue de la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection

Et puis aussi puisque nous vivons une époque moderne :

Internet : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr) INDISPENSABLE. Gestion au jour le jour des textes réglementaires

L'ensemble des sites web (impossible de tous les recenser) concernant le sujet :

En vrac : le CEA, l'IRSN, l'EDF, la SFRP, l'ensemble des industriels, les associations indépendantes comme la CRIIRAD, etc....

Et bien entendu [www.rpcirkus.org](http://www.rpcirkus.org)