



RADIOPROTECTION CIRKUS

Document technique

Radioprotection Cirkus - 89 D boulevard du Fier 74000 Annecy - www.rpcirkus.org - contact@rpcirkus.org
Association loi 1901 créée le 9 mars 2010 - n° W913002355 - Enregistrée à la préfecture de la Haute Savoie

Titre :	Approche généraliste d'une notice d'information pour les personnes exposées entrant en zone contrôlée
N° Chrono :	DOC-NT-11_2
Auteurs :	Marc Ammerich
Editeur :	Sakura (avril 2015)
Résumé	Ce document présente un exemple de notice d'information à remettre aux personnes exposées entrant en zone contrôlée.



LES RISQUES D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

INTRODUCTION

Vous allez être amenés à travailler en présence d'un risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

Les dispositifs de protection, les méthodes de travail doivent permettre de maintenir les expositions au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible, bien en dessous des limites prescrites par la réglementation.

Ce livret constitue un premier document d'information sur les risques entraînés par une exposition aux rayonnements, sur les moyens de protection collective et individuelle et sur les méthodes de travail. Les personnes exposées seront amenées à suivre des formations complémentaires en radioprotection.

L'ensemble de ces dispositions de prévention de protection et de surveillance (dosimétrie individuelle et suivi médical) a pour objet de garantir votre santé et votre sécurité au travail.



1 - LES DIFFÉRENTS MODES D'EXPOSITION

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue deux modes d'exposition :

- L'exposition externe
- L'exposition interne



exposition externe



exposition 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.

Le terme **contamination** est défini comme : "présence indésirable à un niveau significatif pour l'hygiène de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque, y compris le corps humain.

Il y a **exposition externe** quand nous sommes placés sur le trajet des rayonnements émis par un appareil ou une source radioactive situés à l'extérieur de l'organisme. Les rayonnements peuvent nous atteindre directement ou après diffusion sur les parois d'un local par exemple. L'exposition cesse dès que l'on n'est plus sur la trajectoire.

Il y a également **exposition externe** quand après une dispersion de substances radioactives, celles-ci se retrouvent sur les personnes présentes. **On parlera alors de contamination externe**=(sur la peau ou les



Radioprotection Cirkus

cheveux par exemple). Tant que la substance n'aura pas été éliminée, il y aura exposition de la personne.

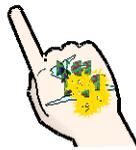
Il y a **exposition interne** quand la substance radioactive est rentrée à l'intérieur de l'organisme. Les voies de pénétration sont les suivantes :



Inhalation



Ingestion



cutanée



Blessure

Les substances sont ensuite distribuées dans l'organisme. L'exposition ne cesse qu'après disparition des substances par élimination naturelle et décroissance radioactive. Le temps nécessaire à la diminution de moitié de l'exposition est appelé **période effective**. Celle-ci peut, dans certains cas, être très longue à l'échelle de temps d'une vie humaine. Un traitement médical peut parfois favoriser l'élimination.



2 - GRANDEURS ET UNITES EN RADIOPROTECTION

2.1 - ACTIVITÉ (notation A)

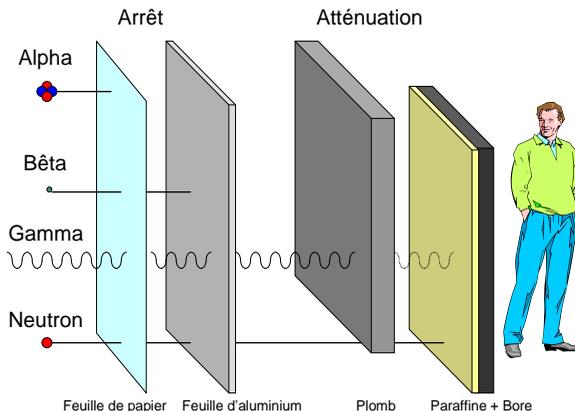
C'est le nombre de désintégrations par seconde. La désintégration correspond à une transformation spontanée d'un atome (et en particulier son noyau) radioactif.

L'unité d'activité est le becquerel (symbole Bq) : 1 Becquerel = 1 désintégration par seconde

On utilise plus fréquemment les multiples du becquerel : kBq (1000 fois plus), MBq (1 000 000 de fois plus), GBq (1 000 000 000 de fois plus).

A l'issue de la désintégration et, s'il y a lieu, de la désexcitation, des rayonnements énergétiques particuliers (alpha, bêta) et électromagnétiques (X et gamma) peuvent être émis. Le pouvoir de pénétration de ces rayonnements est donné par la figure suivante.

A noter que les neutrons sont issus, soit de la fission d'atomes lourds (uranium, plutonium, californium), soit de l'interaction d'un rayonnement avec la matière.





Les rayonnements particuliers (alpha et bêta) sont stoppés alors que les rayonnements électromagnétiques (X et gamma) ne sont qu'atténués. Les neutrons bien que particuliers, ont un comportement voisin des rayonnements électromagnétiques concernant leur trajet dans la matière. Au cours de leur parcours, tous ces rayonnements vont céder leur énergie en fonction de leurs interactions.

2.2 - DOSE ABSORBÉE (notation D)

Cette grandeur est définie comme l'énergie des rayonnements cédée à la matière.

L'unité de dose absorbée est le Gray (symbole Gy) :

$$1 \text{ Gray} = 1 \text{ joule par kilogramme}$$

On utilise plus fréquemment les sous-multiples du Gray : mGy (1000 fois moins), μGy (1 000 000 de fois moins)

La dose est fonction du débit de dose absorbée et du temps d'exposition. Pour minimiser la dose absorbée on pourra donc agir sur ces deux paramètres.

2.3 - DOSE ÉQUIVALENTE (notation H)

Dans les tissus humains et dans le domaine des faibles doses, (valeurs inférieures à 0,5 Gray pour une exposition globale) on est amené à tenir compte des effets biologiques qui diffèrent selon les rayonnements. Pour traduire cette nuisance en termes d'effets stochastiques on a affecté aux rayonnements un facteur de pondération, noté W_R . On a une relation entre la dose équivalente et la dose absorbée qui est :

$$H_T = D_{T,R} \times W_R$$



Radioprotection Cirkus

Pour les bêta, gamma et X, le coefficient de pondération est égal à 1. Il est en moyenne égal à 10 pour les neutrons et égal à 20 pour les alpha.

L'unité de dose équivalente est le Sievert (symbole Sv) :

1 Sievert = 1 joule par kilogramme

En réalité, on ne devrait utiliser que les sous-multiples du Sievert : mSv, μ Sv

2.4 - DOSE EFFICACE (notation E)

La dose efficace E (que l'on retrouve mentionnée au niveau réglementaire) est la dose fictive qui, administrée de façon homogène au corps entier, entraînerait les mêmes dommages tardifs que l'ensemble des doses reçues par le même individu au niveau des différents organes et à des moments différents.

C'est la somme des doses équivalentes pondérées délivrées par exposition interne et externe aux différents tissus et organes du corps.

La dose efficace est définie par la formule :

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

où :

$D_{T,R}$ est la moyenne pour l'organe ou le tissu T, de la dose absorbée du rayonnement R.

w_R est le facteur de pondération pour le rayonnement R ;

w_T est le facteur de pondération pour le tissu ou l'organe T.

L'unité de dose efficace est le sievert (Sv)

Dans le cas de contamination interne, on parle de dose efficace engagée E(t). C'est la somme des doses équivalentes engagées dans les divers tissus ou organes $H_T(t)$ par suite d'une incorporation, multipliées chacune par le facteur de pondération w_T approprié.



3 - EFFETS DES RAYONNEMENTS SUR L'ORGANISME

Les effets des rayonnements sur la santé sont classés en deux catégories :

3.1 - LES EFFETS DÉTERMINISTES

Ils apparaissent au-delà d'un certain seuil, en général de manière précoce. Ils sont souvent provoqués par une exposition de courte période avec un fort débit de dose. La gravité augmente avec la dose reçue.

Une exposition de 4,5 grays délivrée à l'organisme entier peut entraîner le décès dans 50 % des cas (dose létale 50%), 60 jours après l'exposition **sans traitement médical**.

Sur le plan professionnel, les valeurs envisagées ci-dessus ne peuvent correspondre qu'à une situation "accidentelle".

3.2 - LES EFFETS STOCHASTIQUES (ou ALÉATOIRES)

Leur probabilité d'apparition est considérée comme sans seuil. Elle est considérée comme proportionnelle à la dose équivalente reçue. L'apparition des effets est en général tardive. Ils se traduisent par des effets somatiques sur les personnes exposées (cancers) ou par des effets héréditaires.

Les principales sources de données relatives, à ces effets sont fournies par :

- survivants d'Hiroshima et Nagasaki (90 000 personnes environ)
- patients ayant été traités par irradiation
- travailleurs exposés aux radiations
- expérimentations animales.



Radioprotection Cirkus

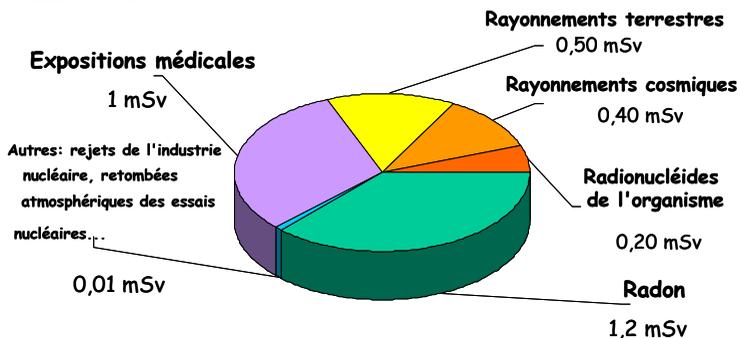
La probabilité de voir un de ces effets apparaître est estimée à 5,6 % pour 1 Sievert reçu pour les travailleurs et 7,3 % pour 1 Sievert reçu pour la population.

- L'exposition aux rayonnements doit donc être maintenue à un niveau qui : empêche l'apparition des effets déterministes. Cette valeur a été fixée à 500 mSv par an (sauf cas particuliers).
- limite l'apparition des effets aléatoires à un niveau socialement acceptable, aussi faible que raisonnablement possible. Cette valeur a été fixée à 20 mSv par an.

Dans le cas des expositions professionnelles, des objectifs de dose sont fixés et revus périodiquement. C'est même maintenant réglementaire.

3.3 - L'EXPOSITION NATURELLE

L'exposition d'origine naturelle en France varie entre 2,5 et 4 mSv par an. L'exposition d'origine médicale est, en moyenne, environ égale à 0,9 mSv par an par habitant.





4 - LES MOYENS DE PROTECTION

Les locaux où sont utilisées des substances radioactives ou des générateurs électriques de rayonnements ionisants sont conçues pour :

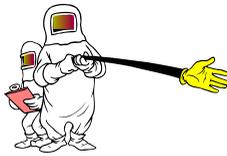
- Supprimer ou réduire à un niveau très faible l'exposition externe.
- Eviter la dissémination des substances radioactives dans les locaux

4.1 - PROTECTION CONTRE L'EXPOSITION EXTERNE

On utilise les trois grands principes suivants :



TEMPS



DISTANCE



ECRAN

La dose absorbée par un individu étant le produit du débit de dose absorbée 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,
- une bonne organisation du travail (limitation de l'activité, préparation, répétition préalable, signalisation, stockage)

Rappel :

Pour les rayonnements particulaires, un écran matériel arrête totalement les rayonnements :



Radioprotection Cirkus

- une feuille de papier pour le rayonnement α
- 1 cm de plexiglas ou une feuille d'aluminium pour le rayonnement β

Pour les rayonnements électromagnétiques (X ou γ) 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 β (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 $1/d^2$).

Des équipements de protection individuelle existent.
On peut citer les tabliers de plomb,

4.2 - PROTECTION CONTRE LA CONTAMINATION ET L'EXPOSITION INTERNE

Pour éviter la dissémination des substances radioactives, on les isole du milieu du travail en utilisant des systèmes de protection collective (hotte ventilée, boîte à gants, enceintes de confinement) avec des dispositifs de ventilation et de filtration efficaces.





Radioprotection Cirkus

Sorbonne
ventilée

Boîte à gants

Il s'avère parfois nécessaire de donner aux travailleurs des systèmes de protection individuelle, notamment des gants.

Les blouses permettent au moins de limiter la contamination corporelle externe. La bonne pratique ((voire le règlement intérieur de l'établissement) incite à l'utilisation de surchaussures, de lunettes.



Les dispositifs de protection sont choisis et les consignes de travail sont élaborées en fonction de la nature du travail qu'il y a à effectuer. Il est toujours indispensable pour le travailleur :

- de respecter les panneaux de signalisation mis en place
- d'être informé des risques par rapport au poste de travail (consignes particulières locales),

Il est nécessaire

- d'effectuer les mesures de contamination et d'exposition externe dès que nécessaire,
- de se contrôler systématiquement en sortie de zone de travail et en sortie de vestiaire.

Des équipements de protection individuelle sont parfois utilisés, tels que des tenues en tissu non tissé, voir des tenues ventilées



5 - LES LIMITES D'EXPOSITION

Toute exposition inutile doit être évitée. Les expositions totales (externe et interne) doivent être maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible, en dessous des valeurs de dose équivalente ou efficace données dans le tableau suivant :

EXPOSITION	LIMITES POUR 12 MOIS CONSECUTIFS
Organisme entier (dose efficace)	20 mSv
Peau, extrémités	500 mSv
Cristallin	150 mSv

L'exposition de la femme enceinte doit être réduite le plus possible et ne doit pas dépasser 1 mSv pendant le temps qui s'écoule entre la déclaration de grossesse et la naissance.

Les jeunes travailleurs ne peuvent être exposés à plus de 3/10 d'une de ces valeurs.



6 - CLASSIFICATION DES TRAVAILLEURS

Un travailleur est classé catégorie A si, dans des **conditions normales de travail**, il est susceptible de dépasser les 3/10 de l'une des limites annuelles.

Un travailleur est classé catégorie B si, dans des **conditions normales de travail**, il est susceptible de dépasser les 1/10 de l'une des valeurs de dose équivalente ou 1 mSv pour l'exposition de l'organisme entier sans dépasser les 3/10 de l'une des limites annuelles.

Le public ou les travailleurs considérés comme non exposés ne peuvent dépasser les 1/10 de l'une des limites annuelles ou 1 mSv pour l'exposition de l'organisme entier.

1/10 des valeurs de dose équivalente ou 1 mSv	3/10 des limites annuelles	Limites annuelles
personnes du public travailleurs non exposés (ni A, ni B)	travailleurs de catégorie B jeunes travailleurs âgés de 16 à 18 ans	travailleurs de catégorie A

Il peut être dérogé aux valeurs limites d'exposition au cours **d'expositions exceptionnelles**. Elles doivent être préalablement justifiées, effectuées dans certaines zones de travail et pour une durée limitée.



7 - ZONES DE TRAVAIL

On définit la zone surveillée comme un lieu où l'exposition, dans des conditions normales de travail, est susceptible de dépasser les 1/10 de l'une des limites annuelles ou 1 mSv pour l'exposition de l'organisme entier.

On définit la zone contrôlée comme un lieu où l'exposition, dans des conditions normales de travail, est susceptible de dépasser les 3/10 de l'une des limites annuelles. Les travailleurs de catégorie B ne peuvent y accéder que temporairement.

La zone contrôlée fait l'objet d'une délimitation particulière quand le risque d'exposition dépasse certains seuils. Ces zones sont à accès réglementé ou interdit et font l'objet d'autorisations spécifiques de la part des services de radioprotection (voir le tableau suivant).

Dans le cas des travailleurs considérés ni A, ni B leur entrée en zone contrôlée peut se faire après autorisation de la personne compétente en radioprotection (pas de risque de contamination, information sur les conditions de travail, **formation à la radioprotection**) et suivi dosimétrique associé.

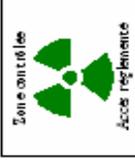
Pour les zones orange, seuls les travailleurs ayant un contrat à durée indéterminée peuvent y accéder. Cela fait l'objet d'un enregistrement particulier. Un avis du service de radioprotection est parfois nécessaire (en fonction des entreprises). De même pas de stagiaires dans ces zones.

Pour les zones rouges il faut en plus une autorisation de l'employeur.

Les zones et signalisations à connaître sont présentées à la figure suivante :



Radioprotection Cirkus

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



8 - LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE

L'exposition externe est mesurée par des appareils appelés dosimètres.

Pour le personnel de catégorie A la dosimétrie doit être individuelle et nominative. Elle est effectuée au moyen d'un dosimètre passif qui donne la mesure de l'exposition après traitement et d'un dosimètre opérationnel qui donne la mesure en temps réel. Les dosimètres, bien évidemment, ne mesurent que les rayonnements susceptibles d'induire des interactions avec les matériaux adaptés pour la mesure de l'exposition (exemple : pas de mesure des rayonnements alpha ou des rayonnements bêta de faible énergie en exposition externe).

La périodicité de port est mensuelle.

Dosimètres passifs



film dosimètre



dosimètre TLD



dosimètre OSL



dosimètre RPL



Dosimètres opérationnels



Le personnel de catégorie B doit aussi avoir une dosimétrie individuelle nominative dès qu'il opère en zone surveillée ou contrôlée. Il n'y a pas d'obligation concernant les moyens de mesure, et leur durée de port est au maximum trimestrielle pour la dosimétrie passive. L'accès temporaire en zone contrôlée oblige cette catégorie de personnel à avoir une dosimétrie opérationnelle.

Les dosimètres ne servent qu'à mesurer l'exposition professionnelle. Ils se portent pendant les heures de travail au niveau de la poitrine. En dehors ils doivent être rangés dans un casier prévu à cet effet où il n'y a pas de risque d'exposition.

Ils sont portés en-dessous des protections individuelles que les opérateurs sont amenés à porter.



9 - SURVEILLANCE DE LA CONTAMINATION

La mesure de la contamination corporelle externe se fait au moyen de radiamètres qui déterminent la quantité d'activité déposée sur la peau, les mains ou les vêtements. Ce contrôle est obligatoire en sortie de zone. Il existe également des systèmes de contrôle en sortie de sites.

La mesure de la contamination atmosphérique est réalisée par des moniteurs analysant en temps réel l'activité déposée sur un média filtrant pour les aérosols ou par des chambres d'ionisation différentielles pour les gaz rares. Des prélèvements sur filtre fixe sont également réalisés pour les aérosols et permettent de déterminer après comptage l'activité volumique.

La contamination interne du personnel peut être déterminée après analyse de l'activité volumique et du temps de présence dans une atmosphère contaminée (cas de l'inhalation). On procède ensuite à des examens radiotoxicologiques liés à la nature des radionucléides :

- analyse d'urine (exemple : analyse du tritium)
- analyse des selles (exemple : analyse des transuraniens)
- anthropogammamétrie (exemple : mesure des radionucléides émetteurs gamma)

Attention de ne pas se contrôler à proximité de sources d'exposition comme un fut de déchets par exemple.



10 - LA SURVEILLANCE MEDICALE

Les travailleurs font l'objet d'un examen médical périodique. Pour les travailleurs de catégorie A et pour les travailleurs de catégorie B, cet examen a lieu au moins tous les ans.

Une fiche médicale d'aptitude au poste de travail est délivrée après chaque visite. Le médecin du travail détient un dossier médical individuel qui contient :

- la fiche d'exposition (fiche de poste et de nuisance),
- les dates et les résultats des examens médicaux,
- les relevés dosimétriques.

Les relevés dosimétriques incluent les résultats de la dosimétrie passive (résultats envoyés au médecin du travail, par le laboratoire de dosimétrie agréé gérant celle-ci) la dosimétrie opérationnelle (fournie par la personne compétente ayant cette mission) et des examens radiotoxicologiques.

Le médecin du travail et la personne compétente en radioprotection collaborent pour optimiser la dosimétrie des travailleurs :

- **études de poste de travail,**
- actualisation de la fiche d'exposition,
- propositions quant au choix des équipements de protection individuels,
- participation à l'information des travailleurs sur les risques potentiels pour la santé de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Les femmes sont invitées à déclarer le plus tôt possible au médecin du travail leur grossesse.

Le dossier médical sera gardé 50 ans après la cessation d'activité pour une éventuelle reconstitution de dose, en cas de déclaration de maladie professionnelle.



11 - QUE FAIRE EN CAS D'INCIDENT

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)

SCR : service compétent en radioprotection (ou ci-dessous)

PCR : personne compétente en radioprotection

ESR : événement significatif en radioprotection qui doit être déclaré à l'ASN.

INES : International Nuclear Event Scale – échelle de classement des incidents à destination des médias et du grand public.

Nous vous proposons également quelques fiches réflexes, sachant qu'elles sont graduées en fonction du risque. Elles vous sont proposées à titre d'exemple et, en fonction de votre établissement vous pouvez en réaliser en fonction de vos besoins.

(voir DOC-NT-5-1 et DOC-NT-6-1)



12 - LES CONTACTS SUR VOTRE ETABLISSEMENT

C'est à l'employeur de compléter cette partie avec les coordonnées des différents acteurs en sécurité et notamment :

PERSONNE COMPÉTENTE EN RADIOPROTECTION

MÉDECIN DU TRAVAIL



Radioprotection Cirkus

13 - VOS NOTES