

Radioprotection : secteur recherche**Sources non scellées***in vitro*

L'ensemble de cette collection a été réalisé par un groupe de travail (cf. composition p. 171), auquel ont participé :
 l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire),
 la DGT (Direction générale du travail),
 l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)
 et l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité).

Cette fiche, qui fait partie d'une collection réalisée par type d'activité dans le secteur de la recherche, concerne l'utilisation de sources non scellées. Elle est destinée aux personnes impliquées dans la radioprotection des travailleurs : personnes compétentes en radioprotection (PCR), médecins du travail/de prévention¹ et responsables (employeurs...). Elle s'adresse aussi aux utilisateurs de ces techniques (chercheurs, techniciens...).

Chaque fiche présente les différentes procédures, les types de dangers spécifiques, l'analyse des risques et leur évaluation, ainsi que les méthodes de prévention. La démarche générale de la mise en œuvre d'une étude de poste est présentée en annexe.

1 TYPES DE PRATIQUE

Tous types d'activités où sont mis en œuvre - *in vitro* - des radionucléides en sources non scellées (tableaux I et II).

2 PERSONNEL CONCERNÉ PAR LE RISQUE

- Toutes personnes utilisant les sources : chercheurs, techniciens, ingénieurs, thésards, post doctorants, stagiaires...
- Toutes autres personnes amenées à intervenir dans les locaux dédiés à la manipulation ou au stockage de radionucléides : services techniques, entreprises extérieures (personnel de maintenance et/ou de contrôle...)...

L'ensemble des dispositions ci-après à mettre en œuvre par l'employeur s'applique aux agents et salariés de l'établissement, aux travailleurs indépendants, aux intérimaires et aux salariés des entreprises extérieures. Dans le cas d'entreprises effectuant des travaux ou des prestations de service, ces dispositions imposent une coordination des mesures de radioprotection entre les différents intervenants, assurée par le chef de l'entreprise utilisatrice où sont détenu et utilisées les sources. Ces mesures sont formalisées dans un plan de prévention.

3 DÉROULEMENT DES PROCÉDURES

- S'assurer de l'existence et de la validité du champ des autorisa-

tions administratives nécessaires (ASN, préfecture ...).

- Désigner parmi le personnel de l'établissement une ou plusieurs PCR bénéficiant du temps et des moyens nécessaires à sa mission.
- Analyser en amont les protocoles expérimentaux afin d'établir l'évaluation des risques, les études de postes, le programme de contrôles et le plan de gestion des déchets/effluents, ainsi que les procédures en cas d'urgence.
- Mettre en place, avant toute acquisition de source, une organisation permettant de vérifier le respect des prescriptions réglementaires notamment celles contenues dans l'autorisation administrative, la traçabilité et le contrôle des sources. L'acquisition se fait auprès d'un fournisseur autorisé.
- Établir les procédures d'accès aux locaux concernés.

1. Dans la suite de la fiche, le terme générique médecin du travail sera retenu.

4 DANGERS ET IDENTIFICATION DU RISQUE RAYONNEMENT IONISANT

1. Dangers

SOURCES NON SCÉLÉES	SOURCES SCÉLÉES ET GÉNÉRATEURS X
<ul style="list-style-type: none"> ○ Émission de rayonnements α, β, γ, X et dispersion de radionucléides. <p>Sources d'étalonnage</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Utilisation éventuelle de générateurs X ou sources scellées (irradiateurs de tout type de particules).

2. Risque

SOURCES NON SCÉLÉES	SOURCES SCÉLÉES ET GÉNÉRATEURS X
<ul style="list-style-type: none"> ○ Exposition interne (inhalation, ingestion ou voie cutanée). ○ Exposition externe (selon nature et énergie des rayonnements émis). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Exposition externe.

Cf. tableau I des principaux radionucléides utilisés en recherche.

5 ÉVALUATION DU RISQUE ET DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION

La collaboration entre le médecin du travail et la PCR est essentielle.

1. Éléments d'évaluation du risque

La démarche repose sur l'identification des sources présentes, leurs caractéristiques et l'estimation des expositions potentielles associées à celles-ci.

Pour la mise en œuvre de nouveaux protocoles expérimentaux, les niveaux d'exposition sont déterminés par calcul en utilisant les formules pratiques en radioprotection, des données issues de la littérature ou des codes de calculs.

Par la suite, les niveaux d'exposition évalués seront confortés, voire affinés sur la base :

- des données collectives (résultats des contrôles d'ambiance, y compris ceux relevant de la contamination) ;
- des données individuelles (résultats dosimétriques) ;
- de l'analyse des incidents.

L'évaluation des risques doit être régulièrement actualisée pour intégrer l'évolution de l'activité, les nouvelles données disponibles (mesures...) et le retour d'expérience (REX).

2. Délimitation et signalisation des zones contrôlées et surveillées

La délimitation des zones doit traduire la gradation du risque.

Elle est définie par l'employeur, sur proposition de la PCR, sur la base de l'évaluation des risques radiologiques.

Cette évaluation² s'appuie notamment sur les caractéristiques des sources et les niveaux d'exposition potentiels les plus pénalisants :

- dans les conditions normales d'utilisation ;
- incluant les événements mineurs susceptibles de se produire avec une forte probabilité ;
- tenant compte de la présence des équipements de protection collective (EPC).

En revanche, les équipements de protection individuelle (EPI) et le temps de travail effectif ne sont pas pris en compte.

La zone réglementée peut être restreinte à une partie du local ou à un espace de travail (paillasse, boîte à gants...) sous réserve d'une délimitation continue, visible et permanente, et garantissant la maîtrise du risque de dispersion.

La démarche relative à la délimitation des zones réglementées est consignée dans un document interne et le résultat de cette démarche est intégré au document unique d'évaluation des risques.

3. Étude de poste et classement des personnels

3.1 Étude de poste

L'étude de poste est réalisée préalablement à la mise en œuvre d'un protocole dans des conditions habituelles de travail, intégrant les aléas probables.

L'étude dosimétrique des postes de travail prend en compte l'activité et la nature des radionucléides manipulés sur la base de la durée d'exposition. Elle doit également tenir compte des EPC et EPI utilisés et de l'ergonomie des postes de travail. S'agissant de sources non scellées, il est important de prendre en compte le risque d'exposition interne. Par ailleurs, concernant l'exposition externe, une attention particulière sera portée au risque d'exposition des extrémités (ex : ³²P).

Cette évaluation préalable des doses (externe + interne) sera vérifiée, le cas échéant affinée lors de sa mise en œuvre et renouvelée si besoin.

À la première mise en œuvre, chacune des étapes du protocole donne lieu à des mesures de débit de dose (en différents points judicieux) et du temps d'exposition ou des mesures de dose intégrée pour

2. Circulaire DGT/ASN n° 01 du 18 janvier 2008 relative à l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont apposées.

évaluer l'exposition individuelle. Les mesures effectuées dans le cadre de la surveillance dosimétrique individuelle (exposition externe et interne) conforteront ces évaluations.

Ces évaluations dosimétriques permettent le classement des travailleurs en référence aux valeurs limites réglementaires ; elles intègrent l'ensemble des pratiques, extrapolé sur une année, en considérant une marge de sécurité liée à la variation de l'activité individuelle.

La démarche générale de réalisation d'une étude de poste est présentée en [annexe](#).

3. 2 Classement du personnel

La démarche de classement s'applique uniquement aux travailleurs exerçant une activité au sein d'une zone réglementée.

Le classement s'applique à tout « travailleur exposé », c'est-à-dire « *tout travailleur susceptible de dépasser, dans le cadre de son activité professionnelle, l'une des valeurs limites de dose fixées pour le public, quelles que soient les conditions de réalisation de l'opération ; habituelles ou bien liées à un incident* »³.

Le classement en catégorie A concerne les travailleurs dont l'exposition est susceptible de dépasser dans des conditions habituelles de travail les 3/10 d'une des limites réglementaires de dose ; sont classés en catégorie B les travailleurs ne relevant pas de la catégorie A.

Le classement est défini par l'employeur après avis du médecin du travail.

Il sera apprécié avec la PCR selon les analyses des postes spécifiques à l'activité du laboratoire.

Le travailleur peut être classé uniquement du fait de l'exposition des extrémités.

À titre indicatif, en secteur recherche, le classement en catégorie B est le plus couramment rencontré.

4. Choix de la surveillance dosimétrique

Une surveillance dosimétrique individuelle adaptée à la nature du rayonnement est mise en place sur la base des analyses de poste de travail, du classement des travailleurs et du zonage radiologique défini.

■ **Pour l'exposition externe corps entier**, cette surveillance est réalisée par le port de dosimètres passifs, auquel s'ajoute une obligation de dosimétrie opérationnelle en zone contrôlée.

L'exposition externe corps entier liée aux émissions β d'énergie moyenne inférieure à 100 keV, ou encore à l'émission de photons d'énergie inférieure à 15 keV, est considérée comme négligeable.

■ **Pour l'exposition externe des extrémités et du cristallin** : le port d'un dosimètre d'extrémité (bague) est essentiel dans le cas d'emploi d'émetteurs bêta de haute énergie

(ex : ^{32}P) et d'émetteurs de photons. Par ailleurs, compte tenu de l'évolution réglementaire attendue relative au cristallin, une attention particulière doit être portée sur l'évaluation d'exposition du cristallin lors de pratiques à risque pour celui-ci.

■ **Pour l'exposition interne**, une surveillance adaptée par analyse radiotoxicologique (ou par anthroporadiométrie pour les émetteur γ ou X) sera mise en place et planifiée pour être représentative du risque d'exposition.

6

STRATEGIE DE MAÎTRISE DE RISQUE

1. Réduction des risques

La démarche repose sur les principes de prévention vis-à-vis d'un risque d'exposition externe (temps, écran, distance) et/ou d'un risque de contamination (ventilation, confinement et EPI).

Le lecteur est invité à se reporter aux fiches INRS-IRSN⁴ traitant des radionucléides concernés.

Elle s'appuie également sur la connaissance par le personnel des

> CARACTÉRISTIQUES DES RAYONNEMENTS NÉCESSITANT UN SUIVI D'EXPOSITION EXTERNE.

NATURE DU RAYONNEMENT	EXPOSITION EXTERNE CARACTÉRISTIQUE
X	Émission par un radionucléide d'énergie $E > 15$ keV ou émission par générateur fonctionnant sous une tension > 30 kV
γ	$E > 15$ keV
β	E moyenne > 100 keV
neutrons	Toute énergie

3. Circulaire DGT/ASN- n° 04 du 21 avril 2010 relative aux mesures de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants.

4. Fiches IRSN/INRS « Radioprotection : radionucléides » : www.inrs.fr, en tapant « radionucléides » dans le moteur de recherche ou www.irsn.fr/FR/professionnels_sante/documentation/Pages/guides.aspx.

règles de radioprotection, des règles de sécurité et des bonnes pratiques de manipulation de produits radioactifs.

Un programme des contrôles concernant les installations, les sources et les appareils de mesure doit être établi.

Les résultats de ces contrôles font l'objet d'un enregistrement systématique ; toute anomalie doit être analysée, le cas échéant traitée et tracée.

2. Mesures techniques concernant l'installation

2.1 Conception de l'installation

Les activités de laboratoire doivent être réalisées dans des locaux distincts des activités de bureau.

L'installation doit être adaptée aux produits manipulés, aux activités mises en œuvre, aux procédés utilisés, et doit permettre une optimisation des flux.

Les règles de base de conception de locaux pour une utilisation donnée doivent être respectées, privilégiant les EPC :

- ventilation générale forcée adaptée au risque (garantissant notamment un renouvellement complet du volume du local) ;
- filtres adaptés à la forme physico-chimique des radionucléides utilisés ;
- surfaces des sols, murs et plans de travail facilement décontaminables (lisses et non poreuses, imperméables et lessivables, sans joints et remontée sur plinthe des sols).

2.2 Contrôles de l'installation

- L'adéquation de l'installation avec l'utilisation qui va en être faite doit être vérifiée à réception (ventilation, EPC...).

Par la suite, les vérifications périodiques réglementaires relatifs aux locaux à pollution spécifique et ceux relatifs aux EPC doivent être également mis en œuvre.

- Les contrôles périodiques d'ambiance comprennent les mesures des débits de dose et la recherche de non-contamination surfacique et atmosphérique ; ils s'effectuent à deux niveaux :

- contrôles internes en continu ou *a minima* mensuels par la PCR, l'IRSN ou un organisme agréé,
- contrôles externes annuels effectués par un organisme agréé ou l'IRSN.

Il est recommandé de procéder à un contrôle d'ambiance « initial » (à réception de l'installation).

- En cas d'anomalies et incidents, ces contrôles sont éventuellement à compléter.

- En cas de déclassement de la zone, un contrôle final de non contamination doit être réalisé après évacuation des déchets et des sources.

3. Mesures techniques concernant l'instrumentation

Il faut :

- s'assurer de l'adéquation détecteur/nature et énergie du rayonnement, y compris pour les dosimètres opérationnels ;
- contrôler les instruments de mesure de radioprotection ;
- contrôler les dispositifs de protection et d'alarme.

4. Mesures techniques concernant les sources

4.1 Contrôles des sources

- Contrôles à réception :

La plupart des transports de radionucléides utilisés pour la recherche

se font en colis exceptés ou en colis de type A.

Il est nécessaire de vérifier l'état général du colis (intégrité...), les documents de transport et de livraison et de mesurer le débit de dose au contact ⁵.

Il faudra effectuer le contrôle de non-contamination du colis et du flacon contenant la solution radioactive par la technique de frottis ⁶ :

- Contrôles périodiques :
 - des sources non scellées, externe (annuel) et interne (mensuel), basés sur la recherche de contamination et de mesure du débit de dose ;
 - des sources d'étalonnage, semestriel ou annuel, basés sur la recherche de contamination (défaut d'étanchéité) et la mesure du débit de dose.

4.2 Manipulation des radionucléides

Éviter ou, à défaut, encadrer strictement le travail isolé

- Préparation de la manipulation :
 - planifier son travail et respecter les protocoles établis ;
 - toujours effectuer une manipulation préalable « à froid » ;
 - disposer d'une poubelle de paille adaptée sur le plan de travail ;
 - limiter l'encombrement du poste de travail ;
 - limiter la surface du plan de travail dédiée à la manipulation ;
 - limiter le temps de sortie des sources mères hors de leur lieu d'entreposage ;
 - réduire la fréquence des manipulations au strict nécessaire ;
 - disposer d'un détecteur adapté et fonctionnel ;
 - si la manipulation nécessite une boîte à gants, vérifier la bonne dépression préalable et l'état des gants.

5. Valeur de débit de dose au contact du colis en tout point de la surface : $\leq 5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ pour les colis exceptés, $\leq 2 \text{mSv.h}^{-1}$ pour ceux de type A. À 1 m du colis de type A : $\leq 0,1 \text{mSv.h}^{-1}$.

6. La contamination labile en émetteurs bêta-gamma ne doit pas dépasser 4Bq.cm^{-2} et, pour les émetteurs α , $0,4 \text{Bq.cm}^{-2}$ sur tout point de la surface externe du colis.

- Pendant la manipulation :
 - privilégier les EPC (sorbonnes...) et compléter avec des EPI (cf. § 6.6.1) ;
 - manipuler si nécessaire derrière les écrans de nature et d'épaisseur adaptées aux rayonnements et à leur énergie (Polyméthacrylate de méthyle [PMMA] pour les émetteurs β d'énergie supérieure à 100 keV, plomb pour les X et γ) ;
 - manipuler si possible dans un plateau à bords relevés ou sur du papier absorbant avec une face étanche ;
 - vérifier l'absence d'anomalie ou de contamination au cours de la manipulation.

- Manipulation terminée :
 - vérifier l'absence de contamination des surfaces, des équipements de laboratoire et des EPI et noter le résultat ;
 - gérer les déchets dans des poubelles adaptées.

5. Gestion des déchets et effluents contaminés par des radionucléides⁷

Mise en place d'un plan de gestion des déchets et effluents radioactifs de l'établissement.

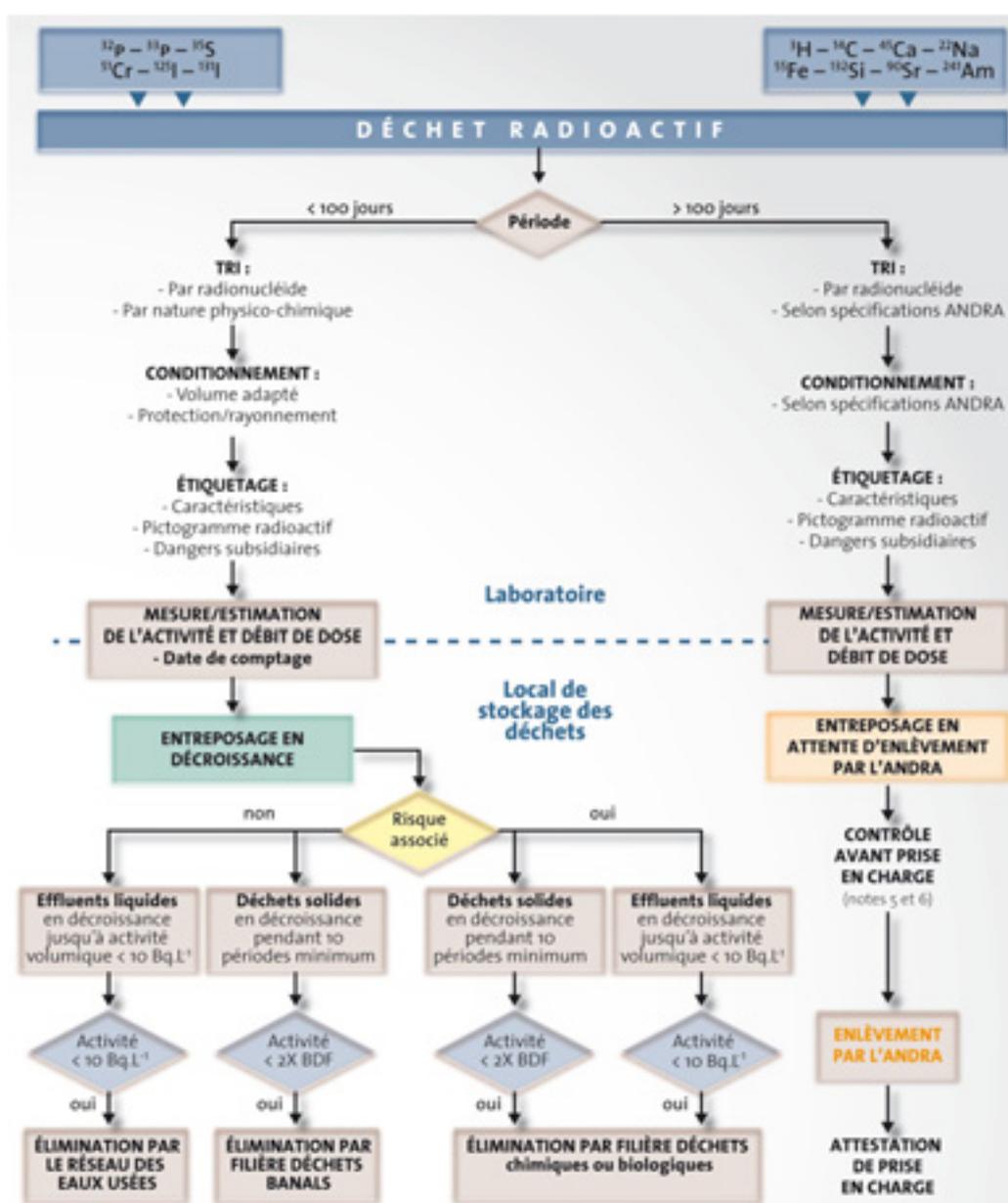
5.1 Organisation générale

- Identifier des zones à déchets contaminés en les regroupant au maximum.
- Afficher des consignes relatives à la collecte de déchets et effluents radioactifs.
- Utiliser un local d'entreposage adapté (rétention, confinement, surfaces facilement décontaminables...). En cas de mutualisation du local, une convention devra être établie.
- S'assurer de la date de péremption ANDRA, (Agence nationale pour la

gestion des déchets radioactifs) des emballages (maximum de 4 ans après la date de fabrication gravée sur chaque emballage) et respecter les spécifications générales du guide d'enlèvement ANDRA.

- Effectuer des contrôles internes, semestriels, et externes, tous les 3 ans, des conditions d'élimination.
- Tenir des registres des flux de déchets et des contrôles effectués.

5.2 Processus de gestion de déchets et effluents radioactifs



7. Arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision n° 2008-DC-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008, fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, prise en application des dispositions de l'article R.1333-12 du Code de la Santé publique.

6. Mesures concernant le personnel

6.1 Mesures techniques individuelles

■ Porter les EPI nécessaires (blouse, lunettes, gants), les quitter pour tout déplacement hors de la zone d'utilisation des radionucléides :

- gants à usage unique adaptés à la nature des solutés utilisés,
- blouse fermée à manches longues,
- lunettes antiprojection,
- lunettes de protection radiologique, notamment en cas de pratiques susceptibles d'exposer le cristallin.

■ Changer de gants fréquemment voire rapidement en cas de suspicion de contamination.

■ Se laver les mains avant de quitter une zone de travail.

■ Respecter l'interdiction de boire, manger, d'utiliser des cosmétiques ainsi que d'amener des articles de fumeurs et d'utiliser son téléphone portable en zone réglementée.

■ Faire attention à ne pas manipuler avec une plaie non cicatrisée au niveau des mains.

6.2 Formation et information

Une information ciblée et, le cas échéant, une formation doivent être délivrées aux membres du laboratoire de recherche, au personnel des services techniques et d'entretien concernés.

6.2.1 Information et formation des personnels

- information par la PCR et le médecin du travail lorsque nécessaire : nouvel arrivant, changement de poste, femme enceinte... ;
- formation spécifique à la radioprotection pour les travailleurs susceptibles d'intervenir en zone réglementée : adaptée au poste de travail occupé et organisée avec

l'implication de la PCR et du médecin du travail. Elle est à renouveler si la situation l'exige et au moins tous les 3 ans ;

● notice d'information spécifique à chaque personne susceptible d'intervenir dans les zones contrôlées (y compris les entreprises extérieures) ;

● sensibilisation des femmes sur les risques pour l'enfant à naître et sur la nécessaire déclaration précoce des grossesses.

6.2.2 Affichage et autres consignes

● consignes générales de sécurité ;

● balisage et signalisation des zones réglementées au niveau des accès du local ;

● affichage des consignes de travail adaptées et de la conduite à tenir en cas d'accident du travail et/ou radioactif ;

● affichage des noms et coordonnées de la PCR et du médecin du travail (service de santé au travail) ;

● mise à disposition des notices de fonctionnement des appareils de mesure de contamination et consignes d'utilisation.

6.3 Fiche individuelle d'exposition

■ Établie sous la responsabilité de l'employeur avec l'aide de la PCR et du médecin du travail en collaboration avec le travailleur ; il est recommandé qu'une copie lui soit délivrée.

■ Comportant la nature du travail et des rayonnements, les caractéristiques des sources, les périodes d'exposition et les autres risques.

■ Support de la traçabilité des expositions anormales éventuelles.

■ Mention souhaitable de l'évaluation de dose prévisionnelle individuelle ainsi que de la catégorie du travailleur.

6.4 Mise en œuvre de la dosimétrie

Chaque employeur inscrit le travailleur à SISERI avant toute demande de dosimètre⁸.

6.4.1 Dosimétrie passive

● **Mise en place :**

- chaque employeur (y compris le chef d'entreprise extérieure ou de travail temporaire) est responsable de la dosimétrie passive des salariés qu'il emploie ; à ce titre, il est tenu de leur fournir les dosimètres passifs ;

- stagiaire : la dosimétrie passive est assurée par l'employeur du maître de stage.

● **Communication des résultats :**

- le médecin du travail communique et commente les résultats dosimétriques individuels au travailleur ;

- la PCR a accès aux résultats de la dose efficace (SISERI) sur 12 mois glissants.

6.4.2 Dosimétrie opérationnelle obligatoire en cas d'intervention en zone contrôlée

● **Mise en place :**

- il appartient à chaque employeur de fournir les dosimètres opérationnels aux salariés qu'il emploie ;

- entreprise extérieure : des accords peuvent être conclus entre le chef de l'entreprise utilisatrice et le chef de l'entreprise extérieure pour la fourniture des dosimètres opérationnels ;

- entreprise de travail temporaire : la dosimétrie opérationnelle est à la charge de l'entreprise utilisatrice ;

- stagiaire : la dosimétrie opérationnelle est assurée par l'employeur du maître de stage.

● **Paramétrage :**

Les dosimètres opérationnels sont paramétrés par la PCR qui définit des seuils d'alarme.

8. Arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et du suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

● **Communication des résultats :**

La PCR communique les résultats aux intéressés, au médecin du travail et hebdomadairement à SISE-RI – En cas de mise à disposition de dosimètres opérationnels par l'entreprise utilisatrice, la PCR de l'entreprise utilisatrice communique ces résultats à la PCR de l'entreprise extérieure.

6.5 Spécificité concernant le personnel extérieur au laboratoire

L'intervention dans le laboratoire d'une équipe de recherche extérieure (utilisation des sources et du matériel...) ne pourra se faire qu'après accord écrit prévoyant :

- les règles de sécurité,
- les obligations réglementaires concernant les rayonnements ionisants.

Un plan de prévention se substitue à cet accord.

Dans tous les cas, la PCR du laboratoire doit définir les procédures d'intervention (formation, protocoles...) en liaison étroite avec la PCR du laboratoire extérieur.

Il est en effet essentiel que les PCR partagent les informations en leur possession.

L'application de ces procédures doit être contrôlée avec une vigilance particulière.

Les utilisations de sources de rayonnements ionisants par une personne extérieure nécessitent d'être couvertes par une autorisation administrative.

7 SURVEILLANCE MÉDICALE

1. Surveillance médicale renforcée

Tout travailleur classé en catégorie A ou B bénéficie d'une surveillance

médicale renforcée ; sous réserve de la périodicité réglementaire des examens médicaux, le médecin du travail est seul juge des modalités de cette surveillance.

Le médecin du travail vérifie l'absence de contre-indication médicale du travailleur au poste de travail occupé.

■ Examen médical préalable :

→ doit avoir lieu avant affectation pour tous les travaux impliquant une exposition potentielle aux rayonnements ionisants ;

→ quel que soit le statut de cette personne (titulaire ou contractuel, public ou privé).

■ Examen périodique :

→ un examen de nature médicale est obligatoire au moins tous les 2 ans sauf pour les travailleurs classés en catégorie A qui bénéficient d'un suivi annuel de leur état de santé ;

→ il est de la responsabilité de l'employeur de s'assurer que les personnes exposées bénéficient de l'examen prévu en santé au travail.

2. Orientation de la surveillance médicale

La surveillance médicale s'appuie sur les informations contenues dans la fiche individuelle d'exposition. Elle comprend un examen clinique et des examens complémentaires dont la nature et la fréquence sont déterminées par le médecin du travail. Elle intègre la surveillance des autres risques identifiés (§9).

■ Examen clinique :

→ recherche de pathologies pouvant favoriser la pénétration de radionucléides et limiter l'efficacité d'une éventuelle décontamination ;

→ dépistage et suivi des diverses pathologies susceptibles d'être déclenchées ou aggravées par un

éventuel accident (irradiation ou contamination) ou susceptibles de modifier le risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

■ Examens complémentaires :

→ une NFS (numération – formule sanguine) à l'embauche est recommandée comme examen de référence, puis sa fréquence sera adaptée à la surveillance individuelle, en fonction de l'étude de poste ;

→ les examens de surveillance dosimétrique interne (anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques) seront adaptés aux radionucléides utilisés, à l'évaluation du risque de contamination et à la période d'utilisation.

■ Les femmes en âge de procréer doivent être informées de la nécessité de déclarer au plus tôt leur grossesse.

■ Une carte individuelle de suivi médical est remise par le médecin du travail à tous les travailleurs de catégorie A ou B (www.siseri.com).

3. Spécificités des entreprises extérieures

■ Les mêmes exigences de suivi médical existent pour ces salariés.

■ Cadre général :

→ le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice assure, pour le compte de l'entreprise extérieure, la réalisation des examens complémentaires rendus nécessaires par la nature et la durée des travaux effectués par le salarié de l'entreprise extérieure dans l'entreprise utilisatrice ;

→ les résultats en sont communiqués au médecin du travail de l'entreprise extérieure qui déterminera l'aptitude au poste ;

→ le chef de l'entreprise utilisatrice doit faciliter l'accès au poste de travail au médecin du travail de l'entreprise extérieure.

■ Entreprise extérieure intervenant

de manière durable dans une entreprise utilisatrice : accord possible entre les entreprises et les médecins du travail pour que les examens périodiques soient assurés par le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice.

4. Femme enceinte ou allaitante

■ Femme enceinte

→ De nombreuses substances utilisées en recherche peuvent être toxiques pour la reproduction.

→ Aussi, il est nécessaire que le personnel féminin informe le plus tôt possible de sa grossesse le médecin du travail pour permettre la mise en place des mesures médicales préventives nécessaires.

→ L'aménagement du poste de travail ou le changement d'affectation est laissé à l'entière appréciation du médecin du travail après concertation avec l'intéressée, mais aucune femme enceinte ne peut être maintenue à un poste impliquant un classement en catégorie A et l'exposition de l'enfant à naître doit dans tous les cas rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de la grossesse et l'accouchement.

■ Femme allaitante

Tout risque d'exposition interne doit être proscrit pendant l'allaitement (possibilité d'excrétion dans le lait maternel).

5. Dossier médical et suivi post-professionnel

■ Le dossier médical comporte notamment :

→ le double des fiches d'exposition établies par l'employeur comprenant les caractéristiques des nui-

sances radiologiques et des autres risques potentiels ;

→ les dates et les résultats des examens anthroporadiométriques et radiotoxicologiques effectués ;

→ le relevé dosimétrique avec les doses efficaces et les doses équivalentes ;

→ l'ensemble des résultats des examens cliniques et complémentaires effectués ;

→ il est conservé pendant au moins 50 ans après la fin de la période d'exposition potentielle ;

→ ce dossier est communiqué, sur sa demande, au médecin inspecteur régional du travail et peut être adressé, avec l'accord du travailleur, au médecin choisi par celui-ci ;

→ si l'établissement vient à disparaître, ou si le travailleur change d'établissement, l'ensemble du dossier est transmis au médecin inspecteur régional du travail, à charge pour celui-ci de l'adresser, à la demande de l'intéressé, au médecin du travail désormais compétent ;

→ le travailleur a accès, à sa demande, aux informations contenues dans son dossier médical ¹⁰.

■ L'attestation d'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants est établie par l'employeur et le médecin du travail, conformément à l'arrêté du 28 février 1995 modifié ¹¹.

8

INCIDENT ET DYSFONCTIONNEMENT

Prendre immédiatement les dispositions pour arrêter l'exposition des personnes impliquées et, si nécessaire, assurer en priorité sa prise en charge médicale (§ 8.2).

1. Contamination des locaux et/ou du matériel

Prévenir la PCR sans délai.

■ Confiner le déversement ou la fuite avec un matériau absorbant.

■ Déterminer l'étendue de la zone contaminée et, si nécessaire, délimiter et baliser un périmètre de sécurité.

■ Décontaminer de l'extérieur vers l'intérieur avec du matériel jetable conformément à la procédure préalablement établie et disponible sur place (port de gants, surblouse et surchaussures obligatoires).

■ Puis contrôler au fur et à mesure l'efficacité de la décontamination par des contrôles (sondes adaptées) afin de vérifier l'absence de contamination résiduelle. Ces résultats feront l'objet d'une traçabilité.

■ Tous les éléments issus de la décontamination seront traités comme déchets radioactifs (§ 6.2.3).

■ Toute contamination de locaux, de surface de travail ou de vêtement, doit être éliminée dès sa détection puis son origine recherchée. Elle doit faire suspecter une contamination éventuelle de personne.

2. Contamination de la personne

■ Principes généraux

→ Dans tous les cas, la PCR, le responsable du laboratoire et le médecin du travail doivent être prévenus sans délai.

→ **La prise en compte de l'urgence vitale médico-chirurgicale prime sur toute action de décontamination.**

→ Évaluer rapidement l'importance de la contamination et mettre en

10. Article L. 1111-7 du Code de la Santé publique.

11. Pris en application de l'article D 461-25 du Code de la Sécurité sociale fixant le modèle-type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen dans le cadre du suivi post-professionnel des salariés ayant été exposés à des agents ou procédés cancérogènes.

œuvre le protocole de décontamination.

→ Si nécessaire, contacter le dispositif d'alerte de l'IRSN :

06 07 31 56 63

■ Protocole de décontamination

→ Avant d'entreprendre une action de décontamination, contrôler ou faire contrôler avec une sonde adaptée les mains, la blouse, les cheveux, les chaussures...

→ Procéder à la décontamination cutanée par lavage à l'eau savonneuse, sans frotter ou utiliser un détergent de décontamination (pH neutre). En cas de douche, laver les mains préalablement de façon à éviter toute contamination cutanée secondaire et contrôler l'efficacité de cette décontamination.

→ En cas de projection oculaire : laver abondamment sous l'eau à température ambiante.

→ Si une contamination cutanée persiste, le médecin du travail pourra mettre en place un pansement étanche¹² sur la zone contaminée et contactera le dispositif d'alerte de l'IRSN.

→ En concertation avec la PCR, prévoir un examen radiotoxicologique et/ou anthroporadiométrique (selon radionucléide en cause) ; en cas de résultat positif, le médecin du travail renouvellera la prescription pour suivre l'évolution de la contamination interne.

S'il le souhaite, le médecin du travail peut contacter le dispositif d'alerte de l'IRSN qui l'aidera dans la prise en charge.

3. Partie administrative

■ Prévenir les différents responsables concernés : l'employeur, la

PCR ainsi que le médecin du travail.

■ En cas d'événement significatif en radioprotection (ESR) : prévenir la division territorialement compétente de l'ASN et déclarer l'incident¹³.

■ En cas d'urgence radiologique (événement grave), contacter l'ASN (**0800 804 135**).

■ En cas de dépassement des valeurs limites réglementaires : prévenir l'inspecteur du travail si concerné, et le CHSCT (ou à défaut les délégués du personnel).

■ Respecter les procédures de déclaration des accidents du travail :

→ secteur privé : déclaration à la CPAM ou inscription, pour les incidents mineurs, sur le registre des accidents bénins ;

→ secteur public : déclaration à l'employeur (en général *via* les ressources humaines) et inscription sur le registre de santé et sécurité au travail.

■ Quelles que soient la nature et la gravité de l'incident, il est nécessaire d'en analyser les causes en vue de faire progresser la radioprotection sur le site.

9 RISQUES ASSOCIÉS

■ Risque biologique :

→ humain (cellules, sang ou organes) : risque de piqûre, coupure ou projection lors des manipulations ;

→ animal : cellules, sang ou organes ;

→ OGM.

■ Risque chimique : utilisation simultanée de solvants, de cytostatiques, de substances CMR...

■ Produits cryogéniques (brûlures, asphyxie).

■ Gaz inertes (argon) ou toxiques

(monoxyde de carbone, dioxyde de carbone).

■ Agents physiques : laser , UV, champs magnétiques...

■ Travail isolé.

10 ÉVALUATION DE LA MAÎTRISE DES RISQUES

Afin d'optimiser la radioprotection des travailleurs et de l'installation, l'employeur établit l'ensemble des bilans nécessaires à l'évaluation de la maîtrise des risques. Les bilans font notamment état des dépassements des valeurs limites et des moyens mis en œuvre pour y remédier.

■ Le CHSCT (ou à défaut les délégués du personnel) a accès :

→ au bilan statistique des expositions ;

→ au bilan des dysfonctionnements relevés ;

→ au bilan des contrôles techniques de radioprotection effectués.

■ La consultation régulière de SISE-RI à des fins d'optimisation et d'information par le médecin du travail et par la PCR, ainsi que la consultation des relevés annuels des doses individuelles, permettent d'apprécier l'évolution des expositions externes et internes des travailleurs.

■ Les résultats des différents contrôles techniques et d'ambiance (ainsi que l'analyse préalable du niveau d'exposition) sont intégrés dans le document unique d'évaluation des risques.

12. Le pansement a pour rôle de faire transpirer la peau en cas de contamination cutanée qui résiste au lavage et faciliter ainsi l'élimination du radionucléide contaminant.

13. Site ASN : www.asn.fr, cheminement : Professionnels/ Les guides de déclaration des événements significatifs.

↓ Tableau I

➤ RADIONUCLÉIDES UTILISÉS EN SOURCES NON SCELLÉES DANS LE SECTEUR DE LA RECHERCHE *IN VITRO*¹⁴. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

Nature	Symbole	Émission	Énergie max. (keV)	% d'émission	Période physique
Tritium	³ H	β	18,6	100	12,3 ans
Carbone 14	¹⁴ C	β	156	100	5730 ans
Sodium 22	²² Na	β γ	546 511 ; 1 275	90 181 ; 100	2,6 ans
Silicium 32	³² Si	β	213 ; 1 710	100 ; 100	450 ans
Phosphore 32	³² P	β	1 710	100	14,3 jours
Phosphore 33	³³ P	β	249	100	25,6 jours
Soufre 35	³⁵ S	β	168	100	87,5 jours
Calcium 45	⁴⁵ Ca	β	257	100	163 jours
Chrome 51	⁵¹ Cr	γ	320	10	27,7 jours
Cobalt 57	⁵⁷ Co	γ	122 ; 137	86 ; 11	272 jours
Cobalt 58	⁵⁸ Co	β γ	475 511 ; 811	15 30 ; 99	70,8 jours
Fer 55	⁵⁵ Fe	X e	5,9 ; 6,5 5,7	25 ; 3,4 60	2,7 ans
Fer 59	⁵⁹ Fe	β γ	273 ; 466 1 099 ; 1 292	46 ; 53 56 ; 44	44,5 jours
Strontium 90	⁹⁰ Sr	β	546 ; 2 280	100 ; 100	28,9 ans
Iode 125	¹²⁵ I	X, γ e	27 ; 31 ; 36 23 ; 31	114 ; 26 ; 7 20 ; 11	60 jours
Américium 241	²⁴¹ Am	α e X, γ	5 388 ; 5 443 ; 5 486 10 ; 22 ; 37 14 ; 26 ; 60	1,7 ; 13 ; 84,5 36 ; 15 ; 31 43 ; 2 ; 36	432,6 ans

14. Fiches IRSN/INRS « Radioprotection : radionucléides » : www.inrs.fr, en tapant « radionucléides » dans le moteur de recherche ou www.inrs.fr/FR/professionnels_sante/documentation/Pages/guides.aspx.

↓ **Tableau II**

➤ **RADIONUCLÉIDES UTILISÉS EN SOURCES NON SCELLÉES DANS LE SECTEUR DE LA RECHERCHE. APPLICATIONS COURANTES.**

Protocoles expérimentaux courants	Radionucléides
Radio-traceurs dans des études métaboliques	^3H , ^{14}C , ^{35}S
Études de prolifération cellulaire	^3H , ^{14}C
Techniques de liaison de ligands (réceptologie)	^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{125}I
Dosages radio-immunologiques	^3H , ^{14}C , ^{125}I
Constitution de sondes moléculaires	^{35}S , ^{32}P , ^{33}P
Étude des transferts membranaires / canaux ioniques	^{45}Ca , ^{22}Na
Techniques de phosphorylation de protéines	^{32}P , ^{33}P
Test de cytotoxicité	^{51}Cr
Sources de référence, traceurs internes	^{90}Sr , ^{241}Am
Techniques de iodation de protéines	^{125}I
Homéostasie intracellulaire du fer	^{55}Fe
Flux intracellulaires du silicium (micro-algues)	^{32}Si

Composition du comité scientifique

Autorité de sûreté nucléaire (ASN), Paris

- J. Fradin
- A. Damiens

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

- B. Aubert
- D. Céliier

Ministère du Travail, de l'Emploi, de la Formation professionnelle et du Dialogue social, Direction générale du travail (DGT), Paris

- T. Lahaye
- P. Mathieu

Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris

- C. Gauron

Experts

- P. Barbey, université de Caen Basse Normandie
- C. Thieffry, CNRS/IN2P3
- S. Rigaud, Institut de recherche Pierre Fabre
- P. Robert, CNRS
- P. Labarre, Inserm
- P. Frot, Inserm
- F. Testas, Institut Curie Recherche



Annexe

Démarche générale de réalisation d'une étude de poste dans le domaine de la recherche *in vitro* avec des sources non scellées

Dans le cadre des activités de recherche où l'exposition des travailleurs est généralement liée à la mise en œuvre de plusieurs protocoles, il est recommandé de faire l'évaluation de l'exposition protocole par protocole, pour ensuite estimer l'exposition annuelle spécifique de chaque travailleur.

1 – Description du ou des protocoles

2 – Caractéristiques de la source

- Radionucléide :
- Période physique :
- Émissions :
- Forme chimique :
- Solvant :
- DPUI⁽¹⁾ (inhalation) :
- DPUI (ingestion) :
- Activité de la source :
- Activité mise en œuvre :
- Activité volumique :

(1) Dose efficace engagée par unité d'incorporation

Les valeurs d'activités prises en compte dans l'étude doivent être choisies comme raisonnablement pénalisantes.

> OÙ TROUVER LES DONNÉES

- **Données sur la source : fiches de données de sécurité**
- **Données sur le radionucléide :**
 - Fiches radionucléides INRS/IRSN (³H, ¹⁴C, ³²P, ³⁵S, ⁹⁰Sr, ¹²⁵I, ²⁴¹Am)
 - Guide pratique « Radionucléides & Radioprotection », Delacroix et al., EDP Sciences, 2006. 2^e édition
 - Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants (tableau 3.1) (tables de DPUI)
Pour les DPUI inhalation : par défaut, prendre le DPUI inhalation pour des particules de DAMA⁽²⁾ 5 µm et pour l'absorption pulmonaire la plus appropriée (tableau 3.3)

(2) Diamètre aérodynamique médian en activité

3 – Moyens de protection et de contrôle mis en œuvre

- Équipements de protection collective :
 - Sorbonne, boîte à gants...
 - Écrans fixes ou mobiles
- Équipements de protection individuelle :
 - Vêtements de protection (blouses, gants...)
 - Lunettes antiprojection
 - Lunettes ou visière de protection radiologique
 - Pincettes longues
- Moyens de contrôle (adaptés aux émissions du radionucléide utilisé) :
 - Appareils de recherche de contamination
 - Appareils de mesure de débit de dose
- Autres moyens : écrans adaptables sur pipettes...

4 – Évaluation de l'exposition

→ 4.1 Exposition externe

4.1.1 Évaluation théorique

Les fiches radionucléides INRS/IRSN et le guide « Radionucléides & Radioprotection » donnent des valeurs de débit de dose à distance ou au contact pour une activité donnée dans plusieurs conditionnements (flacons, seringues...). En estimant le temps de manipulation (par exemple, par des manipulations à blanc), il est possible d'avoir une estimation grossière de l'exposition.

D'autres références bibliographiques, des données d'autres installations pratiquant de la même façon ou une extrapolation de données locales concernant des manipulations similaires peuvent compléter ou préciser ces données (par exemple, avec des valeurs de débit de dose derrière un écran).

L'évaluation théorique peut également être réalisée, totalement ou en partie, au moyen d'un code de calcul, pour ceux qui disposent de cet outil.

Pour un calcul sans code, on utilisera notamment la formule :

$$D = DDD_0 \times A/A_0 \times d_0^2/d^2 \times t$$

où D est la dose à évaluer à la distance d d'une source

(3) Polyméthacrylate de méthyle

d'activité A, quelle que soit la grandeur dosimétrique utilisée (\dot{H}_p , H^* , H' ...)

DDD_0 est le débit de dose dans la grandeur dosimétrique correspondant à celle de la dose D exprimé pour une activité A_0 et à une distance d_0 de la source.

t est la durée d'exposition.

Cette formule n'est valable que pour les émissions photoniques et à des distances suffisantes (plus de 5 fois la plus grande dimension de la source) pour que la source puisse être considérée comme ponctuelle.

S'agissant des **émissions bêta**, il n'est pas possible d'appliquer la loi de l'inverse carré de la distance pour évaluer l'exposition associée. En pratique, elle peut gé-

néralement être rendue quasi nulle par l'utilisation de protections adaptées.

En effet, les parois des contenants des sources (flacons épais...) et/ou des protections complémentaires (écrans en PMMA⁽³⁾...) peuvent permettre d'arrêter complètement les bêtas.

Si l'exposition « corps entier » est généralement quasi nulle, l'évaluation de l'exposition des extrémités, bien que difficile à évaluer par le calcul, ne doit pas être négligée. Par exemple, en cas de prise en main d'un flacon, l'exposition de la peau par des rayonnements bêta d'énergie élevée (> 1 MeV) traversant la paroi peut être significative. Les fiches INRS/IRSN et le guide « Radionucléides & Radioprotection » donnent des

> **EXEMPLE : EXTRAIT D'UN PROTOCOLE DE MARQUAGE À L'IODE 125**
Ouverture du flacon de solution-mère de 40 MBq

L'opérateur reste durant 2 minutes à environ 20 cm du flacon.

Ses mains se trouvent au contact du flacon pendant 5 secondes.

La fiche INRS/IRSN relative à l'iode 125 indique :

- à 30 cm d'un flacon contenant 1 MBq,

$\dot{H}_p(10) = 2,6.10^{-1} \mu\text{Sv/h}$

- au contact d'un flacon contenant 1 MBq,

$\dot{H}_p(0,07) = 2,2.10^2 \mu\text{Sv/h}$

L'ensemble des calculs pour toutes les étapes peut être présenté sous forme de tableau

Protocole / Étapes	Formule de calcul et données de la littérature retenues	Exposition par étape
Étape n° 1 : ouverture du flacon de solution-mère	Exposition corps entier Flacon à 30 cm : $\dot{H}_p(10) = 2,6.10^{-1} \mu\text{Sv/h/MBq}$ Durée : 2 minutes $E_{\text{ext}} = 2,6.10^{-1} \times 40/1 \times 30^2/20^2 \times 2/60$	$E_{\text{ext}} : 0,78 \mu\text{Sv}$
	Exposition des extrémités Flacon au contact : $\dot{H}_p(0,07) = 2,2.10^2 \mu\text{Sv/h/MBq}$ Durée : 5 secondes $H_T = 2,2.10^2 \times 40/1 \times 5/3600$	$\dot{H}_T : 12,2 \mu\text{Sv}$
Étape n° 2 : ...	Exposition corps entier ...	$E_{\text{ext}} : \dots$
	Exposition des extrémités ...	$H_T : \dots$
Total cumulé pour une expérimentation		
Exposition extrémités [H_T] :		Exposition corps entier [E_{ext}] :

$\dot{H}_p(10)$: débit d'équivalent de dose individuel sous 10 mm ; E_{ext} : dose efficace due à l'exposition externe ;

$\dot{H}_p(0,07)$: débit équivalent de dose individuel sous 70 μm ; H_T : dose équivalente aux extrémités

(4) On rappelle ici que la démarche d'optimisation de la radioprotection aura d'abord conduit à rechercher des solutions pour tenter d'éviter le contact direct avec la source.

valeurs de débit de dose au contact. De plus, l'interaction des rayonnements bêta avec les protections induit du rayonnement de freinage X, et ce d'autant plus que leur énergie est élevée. Cette exposition associée est difficile à évaluer par le calcul mais est généralement très faible.

4.1.2 Évaluation par des mesures

Préciser les moyens utilisés pour réaliser les mesures

Exposition corps entier

Deux alternatives sont possibles :

- Réaliser des mesures de débit d'équivalent de dose ambiant avec un radiamètre et chronométrer les durées passées au voisinage des sources afin de calculer les doses efficace reçues.
- Mesurer les doses reçues lors des différentes tâches au moyen d'un dosimètre opérationnel adapté (plus souple d'utilisation). L'utilisation de dosimètres passifs est rarement possible en raison des seuils de détection de ces dispositifs.

Exposition des extrémités

L'exposition des mains peut être inhomogène au cours de la mise en œuvre du protocole. Des mesures à différents points de la main peuvent donc être nécessaires, afin de déterminer la dose la plus élevée.

D'une façon générale, **il est préférable de réaliser des mesures intégrées en Hp(0,07) avec des dosimètres passifs** : bagues, ou mieux pastilles, placées au bout des doigts.

1 – Cas où il y a préhension du contenant (flacon, fiole, tube...) avec les doigts⁽⁴⁾ :

Dans ce contexte, pour l'évaluation des doses aux extrémités, les mesures de débit de dose avec un radiamètre sont déconseillées. En effet, ces appareils mesurent en général un débit d'équivalent de dose ambiant ($\dot{H}^*(10)$) alors qu'il s'agit ici d'évaluer une dose à la peau ($H'(0,07)$). Par ailleurs, du fait de la dimension du volume sensible du détecteur, la valeur affichée correspond à une dose à plusieurs cm de la surface de contact. Cela peut conduire à sous-estimer très fortement l'exposition des doigts.

2 – Cas où il y a utilisation d'un instrument (pipette, pince...) :

Dans ce contexte, où les doigts sont à distance des sources, le radiamètre placé à la position de la main peut convenir dès lors qu'il donne des résultats en $H'(0,07)$ ou que le rayonnement est suffisamment pénétrant pour pouvoir assimiler $H^*(10)$ et $H'(0,07)$.

> EXEMPLE : EXTRAIT D'UN PROTOCOLE DE MARQUAGE À L'IODE 125 Étape de prélèvement avec une micropipette dans le flacon-mère

Protocole / Étapes	Débit de dose mesuré Temps d'exposition enregistré	Exposition par étape
Étape n° 1 :
Étape n° 2 : prélèvement avec une micropipette	Exposition corps entier $\dot{H}^*(10)$ poitrine mesuré : 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ Temps : 3 min (ou Hp(10) mesuré)	E_{ext} : 0,38 μSv
	Exposition des extrémités $\dot{H}'(0,07)$ extrémités mesuré : 120 $\mu\text{Sv/h}$ Temps : 3 min (ou Hp(0,07) mesuré)	H_T : 6 μSv
Étape n° 3 :
Total cumulé pour une expérimentation		
Exposition extrémités [H_T] :		Exposition corps entier [E_{ext}] :

$\dot{H}^*(10)$: débit d'équivalent de dose ambiant sous 10 mm ; $\dot{H}p(10)$: débit d'équivalent de dose individuel sous 10 mm ;
 E_{ext} : dose efficace due à l'exposition externe ; $\dot{H}'(0,07)$: débit d'équivalent de dose directionnel sous 70 μm ;
 Hp(0,07) : équivalent de dose individuel sous 70 μm ; H_T : dose équivalente aux extrémités

→ 4.2 Exposition interne

En milieu professionnel, la voie prépondérante de contamination est l'inhalation.

L'ordre de grandeur de l'exposition par voie d'inhalation peut être estimé à partir de la formule suivante :

$$E_{inh} = h(g)_{inh} \cdot A \cdot k_v \cdot 1/V \cdot D_r \cdot t \cdot k_s$$

Avec :

E_{inh} : dose efficace engagée par inhalation [en Sv] ;

$h(g)_{inh}$: DPUI pour la catégorie « travailleurs », par voie d'inhalation [en Sv.Bq⁻¹] ;

A : activité totale mise en œuvre [en Bq] ;

k_v : coefficient de volatilité [sans dimension] ;

V : volume du local [en m³] ;

D_r : débit respiratoire [en m³.h⁻¹] (le débit respiratoire du travailleur est pris à 1,2 m³.h⁻¹) ;

t : temps d'exposition dans le local [en h] ;

k_s : coefficient de sécurité introduit par la nature de l'EPC [sans dimension].

→ 4.3 Dose totale

Dose efficace

La **dose efficace globale** (E) reçue par un travailleur « dans les conditions habituelles de travail », du fait de la mise en œuvre de cette pratique, est définie par la somme des expositions :

$$E = E_{ext} + E_{int}$$

Avec :

E_{ext} = dose efficace due à l'exposition externe ;

E_{int} = dose efficace engagée due à l'exposition interne.

Dose équivalente aux extrémités

La dose équivalente aux extrémités (H_T) a été évaluée au § 4.1.

5 - Classement des travailleurs exposés

Le produit de cette dose efficace globale, E, par la fréquence annuelle de mise en œuvre du protocole par un même personnel aboutit à la dose efficace annuelle reçue par ce dernier du fait de la mise en œuvre répétée de ce seul protocole.

> PROTOCOLE D'ÉTUDE MÉTABOLIQUE AU SOUFRE 35

Manipulation de 50 MBq de soufre 35 en hotte ventilée dans un laboratoire de 50 m³

$h(g)_{inh} = 1,1 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq (valeur la plus pénalisante pour le DAMA de 5 µm)

$k_v = 0,01$ (donné dans le guide « Radionucléide et Radioprotection », pour les composés autre que les gaz, vapeurs ou le CS₂)

$k_s = 0,1$ (donné pour la hotte ventilée dans le guide « Radionucléide et Radioprotection »)

Pour le calcul, on considère que la manipulation a lieu le matin et qu'un travailleur peut séjourner dans le laboratoire pendant les 4 heures suivant la manipulation (sans prendre en compte l'épuration par la ventilation).

$$E_{inh} = 1,1 \cdot 10^{-9} \times 50 \cdot 10^6 \times 0,01 \times 1/50 \times 1,2 \times 4 \times 0,1 = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$$

La dose efficace engagée par inhalation, du fait de cette pratique, est donc estimée à 5 µSv environ du fait du risque « aérosols ».

À cela, il faudra éventuellement ajouter d'autres valeurs de dose efficace reçues du fait de la mise en œuvre d'autres radionucléides dans le cadre d'autres protocoles et calculées de façon similaires.

La **dose efficace annuelle calculée pour le corps entier** sera comparée avec la valeur limite réglementaire de 20 mSv (et en intégrant la règle des 3/10^e pour les travailleurs classés en catégorie B).

Quant à la **dose équivalente annuelle calculée pour les extrémités**, elle sera corrélée de la même façon avec la valeur limite réglementaire propre aux extrémités.

Comparaison des résultats de l'étude avec ceux du suivi dosimétrique

En concertation, le médecin du travail et la PCR s'assurent de la cohérence des valeurs d'exposition externe et interne avec celles estimées dans le cadre de l'étude de poste.

En cas de discordance notable, réexaminer les hypothèses de calculs et les différentes étapes du protocole. Le plus souvent, l'évaluation par le calcul surestime le risque d'exposition. En revanche, dans le cas d'une constatation de résultats de suivi dosimétrique notablement plus élevés que les conclusions de l'évaluation, une analyse doit être menée.