

Radioprotection : secteur recherche

Sources non scellées

Technique *in vivo* chez le petit animal

L'ensemble de cette collection a été réalisé par un groupe de travail (cf. composition page 105) 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 dans la technique *in vivo* chez le petit animal. 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, ingénieurs, 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 dans l'annexe de la fiche « Sources non scellées-*in vivo* »².

1 TYPES DE PRATIQUES

Tout laboratoire utilisant des petits animaux, type rongeur, auxquels sont administrés des produits radioactifs à des fins de recherche.

Liste (non exhaustive) des utilisations de la radioactivité en expérimentation animale :

- étude de biodistribution classique ;
- étude de métabolisme tissulaire (organes) ou d'excrétion (urines, fèces, bile) ;
- techniques d'imagerie *ex vivo* sur coupes d'animal entier ou d'organe ;
- étude par imagerie TEMP-TDM (SPECT/CT) ou TEP-TDM (PET/CT)* combinant une gamma-caméra ou un tomographe par émission de positons, et un scanner à rayons X ;

*TEMP-TDM : tomographie par émission monophotonique couplée à la tomodesdensitométrie.
SPECT/CT :
Single-photon emission-computed tomography

TEP-TDM : tomographie par émission de positons couplée à la tomodesdensitométrie.
PET/CT : Positron emission tomography-computed tomography

■ essai de radiothérapie vectorisée sur des modèles d'animaux porteurs de tumeurs avec des vecteurs marqués par des émetteurs β^- , α ou e- Auger.

2 PERSONNEL CONCERNÉ PAR LE RISQUE

■ Toute personne utilisant les sources et prenant en charge les animaux injectés et les déchets associés : chercheurs, techniciens, zootechniciens, ingénieurs, doctorants, post doctorants, étudiants stagiaires...

■ Toute autre personne amenée 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 sous la responsabilité de l'employeur, s'applique aux agents et salariés de l'établissement, aux travailleurs indépendants, aux intérimaires et aux salariés des entreprises extérieures, ainsi qu'aux stagiaires. Dans le cas d'intervention d'entreprises extérieures, ces dispositions imposent une coordination des mesures de radioprotection entre les différents intervenants, assurée par le chef de l'entreprise utilisatrice. Elles sont formalisées dans un plan de prévention.

3 DÉROULEMENT DES PROCÉDURES

Préalablement au démarrage des activités, il faut :

- s'assurer de l'existence et de la validité des autorisations admi-

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

2. Sources non scellées-*in vivo*. Fiche radioprotection : secteur recherche FR 9. *Réf Santé Trav.* 2013 ; 136 : 161-175

nistratives nécessaires (ASN, préfecture...);

- désigner, parmi le personnel de l'établissement, une ou plusieurs PCR bénéficiant du temps et des moyens nécessaires à cette mission;

- analyser en amont les protocoles expérimentaux afin d'établir l'évaluation des risques, les études de postes, le programme de contrôle et le plan de gestion des déchets/effluents, ainsi que les procédures en cas d'urgence;

- établir le zonage radiologique et le classement des travailleurs, et mettre en place la surveillance médicale adaptée;

- mettre en place, avant toute acquisition de source auprès d'un fournisseur autorisé, une organisation permettant de vérifier le respect des prescriptions réglementaires, notamment celles contenues dans l'autorisation administrative, la traçabilité et le contrôle des sources;

- établir les procédures d'accès aux locaux concernés;

- s'assurer que les conditions suivantes soient remplies :

- agrément de l'animalerie;
- formations réglementaires en expérimentation animale des techniciens.

D'un point de vue opérationnel, les différentes étapes à considérer sont, de manière non exhaustive :

- transport et réception de la source radioactive;

- préparation de la manipulation;
- administration de radionucléides à l'animal;

- hébergement de l'animal en attente d'imagerie, de traitement ou de prélèvement;

- étapes d'imagerie, de prélèvement biologique ou d'exérèse;

- hébergement et transfert des animaux auxquels les radionucléides ont été administrés;

- gestion des équipements et des locaux souillés (désinfection, décontamination, mise en décroissance, balisage);

- gestion des déchets et effluents.

Le lecteur pourra se reporter au paragraphe 6 « *Stratégie de maîtrise de risque* ».

4 DANGERS ET IDENTIFICATION DU RISQUE RAYONNEMENT IONISANT

4.1. Dangers

SOURCES NON SCÉLÉES	SOURCES SCÉLÉES ET GÉNÉRATEURS ÉLECTRIQUES ÉMETTEURS DE RAYONNEMENTS
o Émission de rayonnements α , β , γ , X, électrons et dispersion de radionucléides	o Utilisation de générateur X, accélérateur et irradiateur
Sources d'étalonnage	

4.2. Risques

SOURCES NON SCÉLÉES	SOURCES SCÉLÉES ET GÉNÉRATEURS ÉLECTRIQUES ÉMETTEURS DE RAYONNEMENTS
o Exposition interne (inhalation, ingestion ou voie cutanéomuqueuse)	o Exposition externe (selon nature et énergie des rayonnements émis)
o Exposition externe (selon nature et énergie des rayonnements émis)	

Cf. tableaux I et II des principaux radionucléides utilisés en recherche en annexe.

5 ÉVALUATION DU RISQUE ET DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION

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

5.1. 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 évalués par calcul en utilisant les formules pratiques en radioprotection, par des données issues de la littérature ou par des codes de calculs.

Par la suite, ces niveaux d'exposition seront confortés, voire affinés, par le retour d'expérience (REX) basé sur l'analyse :

- des résultats des contrôles d'ambiance, y compris ceux relatifs à la contamination;

- des résultats dosimétriques individuels;

- 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.

5.2. Délimitation et signalisation des zones contrôlées et surveillées

La démarche concerne, entre autres, les locaux dédiés aux expérimentations et à l'hébergement, ainsi que les locaux annexes (exemples : stockage des déchets, laverie, locaux techniques...). La dé-

limitation des zones doit traduire la gradation du risque. Elle est définie par l'employeur, sur proposition de la PCR, basée sur l'évaluation des risques radiologiques.

Le zonage s'appuie notamment sur les caractéristiques des sources de rayonnements, dont les animaux après l'administration de radionucléides, 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 ;
- et 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 (zones d'expérimentation ou d'hébergement) 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.

En cas de manipulations de substances radioactives épisodiques, il est possible de délimiter temporairement les zones réglementées. Cependant, le déclassement d'une zone ne peut se faire qu'après réalisation de contrôles techniques d'ambiance et sur décision du chef d'établissement.

La démarche relative à la délimitation des zones réglementées³ est consignée dans un document interne et le résultat de cette démarche est intégré au document

unique d'évaluation des risques professionnels.

5.3. Étude de poste et classement du personnel

5.3.1. 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 prévisibles.

L'étude dosimétrique des postes de travail prend en compte la nature de l'activité et des tâches associées, le type de radionucléides manipulés et la durée d'exposition. Elle intègre l'ensemble des tâches réalisées, extrapolé sur une année, en considérant une marge de sécurité liée à la variabilité des pratiques individuelles. Elle doit également tenir compte des EPC et EPI utilisés et de l'ergonomie des postes de travail.

L'étude de poste permet le classement des travailleurs en référence aux valeurs limites réglementaires.

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

Celles-ci permettront de vérifier ou d'affiner les résultats de l'étude de poste. Toute modification significative du protocole et/ou des conditions de travail nécessitera une actualisation de l'étude de poste.

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 (préparation de seringue, administration de radionucléides, transport d'un animal après administration, prélèvement, recueil des excréta...);
- du cristallin (actes entraînant une proximité de l'œil avec la source : injection, prélèvement, excrèse...).

Le lecteur est invité à se reporter aux fiches IRSN-INRS⁴ traitant des radionucléides concernés.

5.3.2. Classement du personnel

La démarche de classement s'applique uniquement aux travailleurs exerçant une activité dans 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* »⁵.

Le classement en catégorie A concerne les travailleurs dont l'exposition est susceptible de dépasser dans des conditions habituelles de travail les 3/10^e d'une des limites réglementaires de dose⁶ ; 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 études de poste des travailleurs. Un travailleur peut

3. Circulaire DGT/ASN n° 1 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 lui sont apposées.

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.

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

6. Une modification de la VLE « cristallin » est attendue lors de la transposition de la Directive 2013/59/EURATOM du conseil du 5 décembre 2013

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.

5.4. Choix de la surveillance dosimétrique

Une surveillance dosimétrique individuelle adaptée à la nature du rayonnement est mise en place sur la base des études 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 dosimètre passif, auquel s'ajoute une obligation de dosimétrie opérationnelle en zone contrôlée.

L'exposition externe corps entier liée à des β d'énergie moyenne inférieure à 100 keV, ou encore à des 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 adapté (bague pour les extrémités) est essentiel dans le cas d'emploi d'émetteurs β de haute énergie et d'émetteurs de photons.

Une attention particulière doit être portée sur l'évaluation de l'exposition du cristallin (dosimètre cristallin) lors de pratiques à risque pour celui-ci.

■ **Pour l'exposition interne** : une surveillance adaptée par analyse radiotoxicologique et/ou par anthroporadiométrie sera mise en place et planifiée pour être représentative du risque d'exposition.

6 STRATÉGIE DE MAÎTRISE DE RISQUES

6.1. Principes de prévention des risques

La maîtrise des risques au poste de travail repose sur l'application des principes de prévention :

- analyse préalable des risques ;
- limitation du risque (réduction des activités, choix du radionucléide) ;
- réduction du risque d'exposition externe (temps, écran, distance) et/ou du risque de contamination (ventilation, confinement et EPI) ;
- programmation des contrôles des installations, des sources et des appareils de mesure. Les résultats de ces contrôles font l'objet d'un enregistrement systématique et toute anomalie doit être analysée, traitée et tracée ;
- connaissance par le personnel des règles de radioprotection, d'hygiène, de sécurité, et des bonnes pratiques propres à chaque unité d'animalerie lors de la mise en œuvre de sources de rayonnements ionisants.

6.2. Mesures techniques concernant l'installation

En complément des dispositions prévues pour le risque biologique en animalerie, il convient de respecter vis-à-vis du risque radiologique les dispositions suivantes.

6.2.1. 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 radionucléides utilisés, aux activités mises en œuvre, aux procédés établis, et doit permettre une optimisation des flux. Son agencement permet d'aller de zones où les radionucléides sont absents vers les zones où ils sont utilisés. Ainsi le risque de contamination des locaux ne relevant pas d'un classement en zones réglementées est limité. 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 d'air complet du volume du local dans un temps donné et des gradients de pression adaptés) ;
- dispositifs de filtration 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 remontées sur plinthe des sols).

En cas d'utilisation d'appareils électriques émettant des rayonnements ionisants, ces derniers doivent répondre aux exigences en la matière portant sur leur conception⁷ et les installations⁸ dans lesquelles ils sont utilisés.

> CARACTÉRISTIQUES DES RAYONNEMENTS NÉCESSITANT UN SUIVI D'EXPOSITION EXTERNE

NATURE DU RAYONNEMENT	EXPOSITION EXTERNE CARACTÉRISTIQUE
Photons (X, γ)	Émission par un radionucléide avec une énergie $E > 15$ keV ou émission par un générateur fonctionnant sous une tension > 30 kV
β et électrons	Énergie E moyenne > 100 keV
Neutrons	Toute énergie

7. Arrêté du 2 septembre 1991 déterminant les prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons X utilisés en radiologie industrielle.

8. Arrêté du 22 août 2013 portant homologation de la décision n° 2013-DC-0349 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 juin 2013 fixant les règles techniques minimales de conception auxquelles doivent répondre les installations dans lesquelles sont présents des rayonnements X produits par des appareils fonctionnant sous une haute tension inférieure ou égale à 600 kV et abrogation de l'arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons X.

6.2.2. Contrôles de l'installation

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

Par la suite, les vérifications périodiques réglementaires relatives aux locaux à pollution spécifique et celles relatives aux EPC doivent être également mises en œuvre. Il est important de tenir compte de la durée de vie du matériel garantissant l'efficacité des dispositifs de protection, notamment de filtration. Les contrôles périodiques d'ambiance comprennent les mesures des débits de dose et des contaminations surfaciques et atmosphériques ; 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 l'IRSN ou un organisme agréé.

Il est recommandé de procéder à un contrôle d'ambiance « initial » (avant la première utilisation de radionucléides).

Les contrôles lors d'une modification de protocole ou de mise en œuvre d'une nouvelle expérimentation sont réitérés.

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.

6.3. Mesures techniques concernant l'instrumentation et les systèmes de protection et d'alarme

Il faut :

- s'assurer de l'adéquation des types de détecteurs (y compris les

dosimètres opérationnels) à la nature et l'énergie du rayonnement, et de la pertinence de leur emplacement ;

- contrôler périodiquement les instruments de mesure de radioprotection ;
- contrôler périodiquement les dispositifs de protection et d'alarme.

6.4. Mesures techniques concernant les sources

6.4.1. Contrôles des sources

- Contrôles à réception :

→ la plupart des transports sur voie publique 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 d'équivalent de dose ambiant au contact ⁹ ;

→ il faut effectuer le contrôle de non-contamination du colis et du flacon contenant la solution radioactive par la technique de frottis ¹⁰.

■ Contrôles périodiques externes (annuels) et internes (mensuels) des sources non scellées, basés sur la recherche de contamination et la mesure du débit de dose.

■ Contrôles périodiques des sources scellées d'étalonnage, semestriels ou annuels, basés également sur la recherche de contamination (défaut d'étanchéité) et la mesure du débit de dose.

6.4.2. Manipulation des radionucléides

Éviter ou, à défaut, encadrer strictement le travail isolé.

Il convient de réserver des espaces de travail et du matériel dédiés à la manipulation de la radioactivité.

- Préparation de la manipulation :
→ planifier son travail et respecter

les protocoles établis ;

→ effectuer au moins une manipulation préalable « à froid » pour valider la technique ;

→ disposer d'une poubelle de paille adaptée sur le plan de travail ; utiliser des conteneurs spécifiques pour aiguilles contaminées, objets piquants ou tranchants souillés ;

→ 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 ;

→ lorsque la manipulation nécessite une enceinte ventilée, vérifier son bon état de fonctionnement.

- Pendant la manipulation :

→ privilégier les EPC (écran de nature et d'épaisseur adaptées aux rayonnements et à leur énergie : PMMA** (ou plexiglas) pour les β d'énergie moyenne supérieure à 100 keV, plomb pour les X et γ ...);

→ compléter avec des EPI (gants et écran facial si nécessaire) (cf. paragraphe 6.6.1 « Mesures techniques individuelles ») ;

→ manipuler si possible dans un plateau à bords relevés ou sur du papier absorbant avec une face étanche ;

→ privilégier la contention, la sédation ou l'anesthésie des animaux pour faciliter l'administration des radionucléides ;

→ manipuler les flacons avec des pinces si nécessaire ;

→ dans la mesure du possible, utiliser un cathéter permettant l'usage d'un protège-seringue et limitant le temps d'exposition ;

→ éliminer l'aiguille sans la recapuchonner dans le container spécifique aux objets piquants-tranchants ;

→ utiliser un chariot pour le transfert

** polyméthacrylate de méthyle.

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

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

des animaux après administration ;
→ vérifier régulièrement l'absence de contamination au cours de la manipulation. À cet effet, une sonde de contamination avec détecteur adapté est mise à disposition à proximité du poste de travail.

Après administration, l'animal est une source d'exposition durant toute la manipulation. Sa cage est signalée par un pictogramme mentionnant le risque radiologique. Après administration des radionucléides, il convient de limiter autant que possible le temps de présence des animaux à proximité des postes de travail.

■ Manipulation terminée :
→ vérifier l'absence de contamination des surfaces, des équipements de laboratoire et des EPI non jetables, et noter le résultat ;
→ gérer les déchets dans des containers adaptés.

6.5. Gestion des déchets et effluents contaminés par des radionucléides ¹¹

Un plan de gestion des déchets et effluents radioactifs doit être rédigé, mis en œuvre et tenu à jour. Celui-ci doit être révisé en cas de modifications des protocoles, des locaux, de l'organisation...

6.5.1. 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 décontami-

nables...). 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 du guide d'enlèvement ANDRA ¹².

■ 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.

■ Des dispositions particulières existent en raison de la présence de déchets putrescibles :

→ les déchets putrescibles sont gérés selon le même processus mais doivent impérativement être entreposés en congélateur. Ce type d'équipement doit être équipé d'un report d'alarme en cas de dysfonctionnement. De même, il convient de prévoir un congélateur de secours ;

→ les déchets putrescibles et contaminés par des agents infectieux doivent obligatoirement être désactivés vis-à-vis du risque biologique avant la sortie de la zone réglementée. Ils seront ensuite congelés et évacués suivant la filière adaptée.

■ Les eaux usées susceptibles d'être contaminées, en provenance des unités d'animalerie (eaux de lavage, points d'eau...), doivent être dirigées vers un système évitant le rejet direct vers le réseau d'assainissement. Les effluents ainsi collectés seront gérés suivant la filière adaptée (figure 1).

■ Les eaux de dégivrage susceptibles d'être contaminées par des radionucléides doivent être éliminées suivant la filière adaptée (figure 1).

6.5.2. Processus de gestion des déchets et effluents radioactifs

Il doit être décrit dans le plan de gestion. Le lecteur est invité à se reporter à la figure 1 et au guide n° 18 de l'ASN ¹³, notamment pour ce qui concerne la gestion des effluents.

6.6. Mesures concernant le personnel

6.6.1. Mesures techniques individuelles

■ Vérifier le bon état des EPI.
■ Porter les EPI nécessaires au regard des risques radiologiques en complément de la tenue exigée pour l'expérimentation animale : blouses, surblouses, charlotte, lunettes, gants, surchaussures et/ou change complet avant entrée et sortie du laboratoire...

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

■ Respecter l'interdiction de boire, manger, d'utiliser des cosmétiques ainsi que d'apporter 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.

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

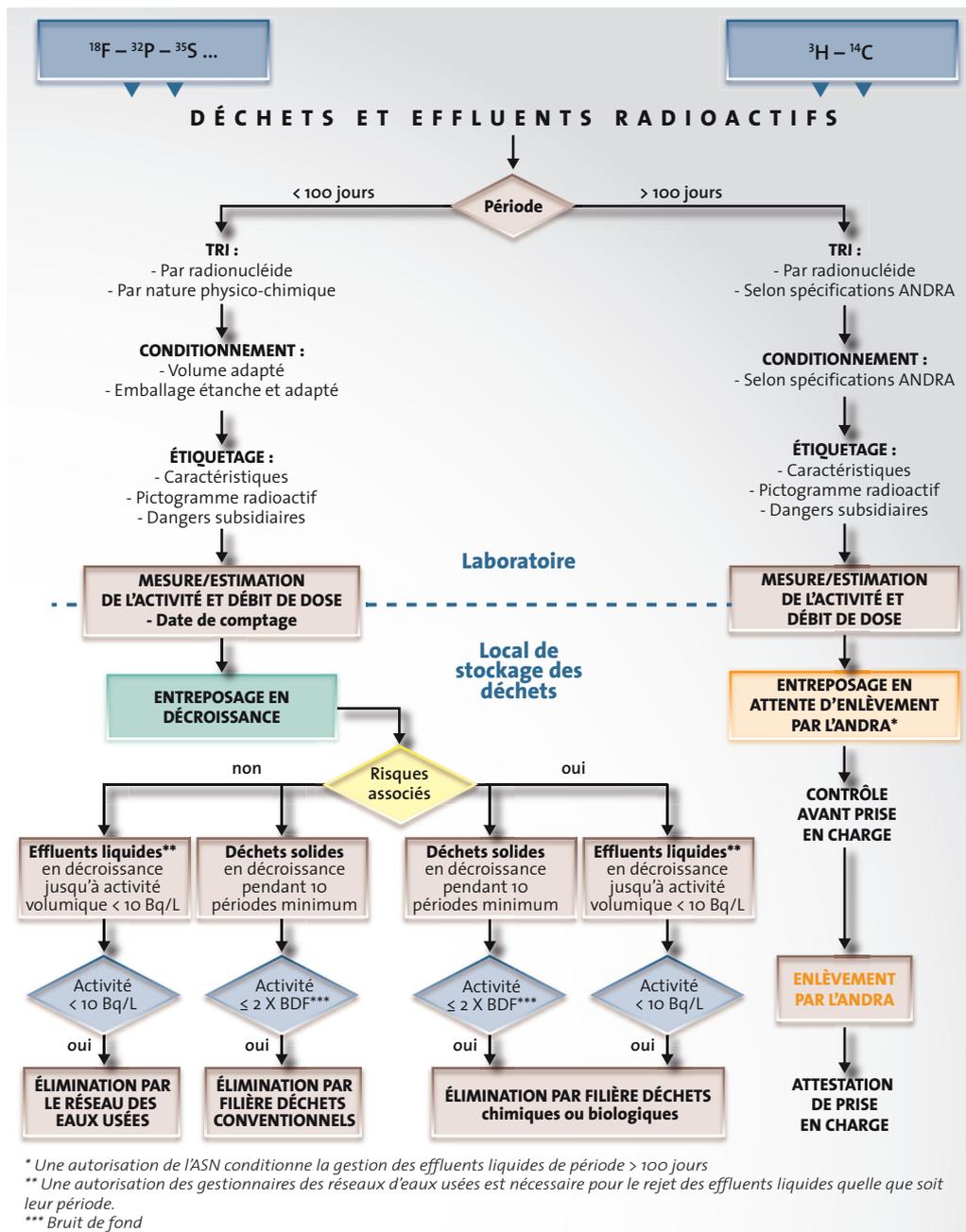
■ Vérifier l'absence de contamination avant de quitter la zone réglementée.

11. 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.

12. Se référer au site www.andra.fr/producteurs.

13. Guide de l'ASN n° 18 : Élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides produits dans les installations autorisées au titre du Code de la Santé publique (version du 26 janvier 2012 (<https://professionnels.asn.fr>)).

Figure 1 : Processus de gestion des déchets et effluents radioactifs



6.6.2. Formation et information

Une information ciblée et, le cas échéant, une formation adaptée doivent être délivrées aux personnels concernés par le risque, identifiés au paragraphe 2.

6.6.2.1. Formation et information des personnels

- 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.

- Renouvellement en cas de changement de poste, création de poste, reprise après un arrêt de travail d'au moins 21 jours, et au moins tous les 3 ans.

- Notice d'information pour les travailleurs intervenant en zone

contrôlée (y compris les entreprises extérieures).

- Information lorsque nécessaire par la PCR et le médecin du travail dans certains cas particuliers : retours d'expérience, sensibilisation des femmes sur les risques pour l'enfant à naître et sur l'importance de la déclaration précoce des grossesses.

6.6.2.2. Affichage et autres consignes

- Affichage des consignes générales d'hygiène et 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 radiologique.
- 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.

6.6.3. Fiche individuelle d'exposition

- Établie et actualisée par l'employeur avec l'aide de la PCR et du médecin du travail, en collaboration avec le travailleur ; une copie est adressée au médecin du travail ; il est recommandé qu'une copie soit délivrée au travailleur.
- Comportant la nature du travail et des rayonnements ionisants, 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.

6.6.4. Mise en œuvre de la dosimétrie

Avant toute demande de dosimètre, chaque travailleur classé est inscrit dans SISERI par son employeur par l'intermédiaire du Correspondant SISERI de l'employeur (CSE)¹⁴.

6.6.4.1. Dosimétrie passive

- Obligatoire pour les travailleurs classés.

- 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 de la personne sous l'autorité de laquelle il est placé¹⁵, la convention de stage peut le préciser.
- Communication des résultats¹⁶ :
 - 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.

6.6.4.2. 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 de la personne sous l'autorité de laquelle il est placé, la convention de stage peut le préciser.
- Paramétrage :

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

La PCR communique les résultats

aux intéressés, au médecin du travail et hebdomadairement à SISERI. 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.

6.6.5. Spécificités concernant le personnel de recherche extérieur au laboratoire

Les utilisations de sources de rayonnements ionisants par les expérimentateurs extérieurs nécessitent d'être couvertes par une autorisation administrative. L'intervention dans le laboratoire de ces expérimentateurs (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 s'y substitue s'ils appartiennent à une entreprise extérieure.

Dans tous les cas, la PCR du laboratoire d'accueil doit définir les procédures d'intervention (formation, protocoles...) en liaison étroite avec son homologue des expérimentateurs extérieurs.

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.

7 SUIVI MÉDICAL

7.1. Suivi individuel renforcé

Tout travailleur exposé à des rayonnements ionisants bénéficie d'un suivi individuel renforcé.

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

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

16. Les modalités de communication des résultats dosimétriques vont évoluer lors de la transposition de la Directive 2013/59/EURATOM du conseil du 5 décembre 2013.

Il est de la responsabilité de l'employeur de s'assurer que les travailleurs exposés bénéficient de l'examen prévu en santé au travail.

■ Le suivi individuel renforcé comprend un examen médical d'aptitude, effectué par le médecin du travail préalablement à l'affectation sur le poste. Cet examen a notamment pour objet de s'assurer que le travailleur est médicalement apte au poste de travail auquel l'employeur envisage de l'affecter, notamment en vérifiant la compatibilité du poste avec l'état de santé du travailleur qui y est affecté, afin de prévenir tout risque grave d'atteinte à sa santé ou à sa sécurité ou à celles de ses collègues ou des tiers évoluant dans l'environnement immédiat de travail.

■ Examen périodique :

Les travailleurs classés en catégorie A bénéficie d'un suivi de leur état de santé au moins une fois par an par le médecin du travail. Pour les travailleurs classés en catégorie B, la périodicité des examens est déterminée par le médecin du travail et ne peut être supérieure à quatre ans. Une visite intermédiaire est effectuée par un professionnel de santé au plus tard deux ans après la visite avec le médecin du travail.

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).

7.2. Orientation du suivi médical

Le suivi médical s'appuie sur les informations contenues dans la fiche individuelle d'exposition. Il comprend un examen clinique et des examens complémentaires dont la nature et la fréquence sont déterminées par le médecin du travail. Il 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, entre autres, par l'exposition aux rayonnements ionisants (examen ophtalmologique...).

■ Examens complémentaires :

→ une NFS (numération – formule sanguine) à l'embauche est préconisée 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 et à leur période, et à l'évaluation du risque de contamination. La planification des examens sera adaptée à la fréquence des manipulations.

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

7.3. Organisation du suivi individuel renforcé pour les travailleurs des entreprises extérieures

■ 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.

■ Cas particulier : accord possible entre les entreprises, extérieure et utilisatrice, et les médecins du travail pour que les examens périodiques soient assurés par le

médecin du travail de l'entreprise utilisatrice.

7.4. Femme enceinte ou allaitante

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 préventives nécessaires.

■ Femme enceinte :

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).

7.5. Dossier médical en santé au travail et suivi post-professionnel

■ Le dossier médical en santé au travail comporte notamment :

→ le double des fiches d'exposition établies par l'employeur comprenant les caractéristiques des nuisances 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 ;

→ le travailleur a accès, à sa de-

mande, aux informations contenues dans son dossier médical¹⁷.

→ ce dossier est communiqué au médecin inspecteur régional du travail sur sa demande 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.

■ 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 modifié¹⁸.

8

INCIDENT ET DYSFONCTIONNEMENT

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

8.1. Contamination des locaux et/ou du matériel

Prévenir la PCR sans délai.

Suivre les procédures d'urgence établies :

- s'assurer du port des EPI adaptés ;
- 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

(port de gants, surblouse et surchaussures obligatoires) ;

■ contrôler l'efficacité de la décontamination et en tracer les résultats ;

■ tous les éléments issus de la décontamination seront traités comme des 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.

8.2. Contamination de personne

■ Principes généraux :

→ dans tous les cas, la PCR, le responsable du laboratoire, l'employeur 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 œuvre le protocole de décontamination ;

→ enregistrer les résultats des mesures tout au long de la 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. Une attention particulière sera portée à la protection des conduits auditifs ;

→ 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 étanche¹⁹ 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 le radionucléide en cause) ; en cas de résultat positif, le médecin du travail renouvelera la prescription pour suivre l'évolution de la contamination interne.

■ Calcul de la dose : les résultats des mesures de contamination surfacique pourront être utiles à l'évaluation de la dose reçue.

Il est à noter que la période effective varie en outre en fonction de l'individu (fonctions rénale, hépatique...) et de la forme physico-chimique de la substance (vecteur...).

Le médecin du travail peut contacter le dispositif d'alerte de l'IRSN pour demander une assistance concernant le calcul de dose et la prise en charge.

8.3. Volet administratif

■ Prévenir les différents responsables concernés : l'employeur, le détenteur de l'autorisation, la PCR ainsi que le médecin du travail.

■ En cas d'événement significatif en radioprotection (ESR) : prévenir

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

18. 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.

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

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

la division territorialement compétente de l'ASN et déclarer l'incident ²⁰.

■ En cas de dépassement de l'une des valeurs limites réglementaires : prévenir l'inspecteur du travail ou équivalent, 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 et de partager le retour d'expérience.

9

RISQUES ASSOCIÉS

■ Risque biologique : piqûre, coupure, morsure, griffure et/ou projection (sang, urines, cellules tumorales d'origine humaine greffées chez l'animal...), aérosols produits à l'occasion du nettoyage des cages...

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

■ Risque allergique : latex, protéines animales, détergents, désinfectants ...

■ Produits cryogéniques.

■ Agents physiques : bruit, champs électromagnétiques...

■ Gestes répétitifs, manutention et postures contraignantes, chutes.

■ 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 SISERI 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 professionnels.

Annexe

↓ Tableau I

➤ RADIONUCLÉIDES UTILISÉS EN SOURCES NON SCELLÉES DANS LE SECTEUR DE LA RECHERCHE *IN VIVO*²² (LISTE NON EXHAUSTIVE). PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Nature	Symbole	Émission	Énergies max. (keV)	% d'émission	Période physique
Tritium	³ H	β ⁻	19	100	12,3 ans
Carbone 11	¹¹ C	β ⁺ γ	960 511	100 200	20,4 minutes
Carbone 14	¹⁴ C	β ⁻	156	100	5 730 ans
Fluor 18	¹⁸ F	β ⁺ γ	634 511	97 194	110 minutes
Phosphore 32	³² P	β ⁻	1710	100	14,3 jours
Phosphore 33	³³ P	β ⁻	249	100	25,6 jours
Soufre 35	³⁵ S	β ⁻	168	100	87,5 jours
Cuivre 64	⁶⁴ Cu	β ⁺ γ	578 ; 653 511	37 ; 18 36	12,7 heures
Gallium 67	⁶⁷ Ga	γ	93 ; 185 ; 300	39 ; 21 ; 17	3,3 jours
Gallium 68	⁶⁸ Ga	β ⁺ γ	1899 511 ; 1077	88 178 ; 3	67,8 minutes
Zirconium 89	⁸⁹ Zr	β ⁺ γ	395 909 ; 511	23 99 ; 45	78,4 heures
Yttrium 90	⁹⁰ Y	β ⁻	2 284	100	2,7 jours
Technétium 99m	^{99m} Tc	X, γ e ⁻	141 ; 18 120	89 ; 6 9	6 heures
Indium 111	¹¹¹ In	X, γ e ⁻	245 ; 171 ; 23 145 ; 219	94 ; 90 ; 69 9 ; 5	2,8 jours
Iode 123	¹²³ I	X, γ e ⁻	159 ; 27 ; 31 ; 32 127 ; 154	83 ; 71 ; 13 ; 2 14 ; 2	13,2 heures
Iode 125	¹²⁵ I	X, γ	27 ; 31 ; 36	114 ; 26 ; 7	59,9 jours
Iode 131	¹³¹ I	β ⁻ X, γ e ⁻	606 ; 334 ; 248 365 ; 637 ; 284 ; 80 ; 30 330	90 ; 7 ; 2 82 ; 7 ; 6 ; 3 ; 3 2	8 jours
Lutétium 177	¹⁷⁷ Lu	β ⁻ X, γ e ⁻	497 ; 208 ; 384 208 ; 113 ; 55 110	79 ; 11 ; 9 11 ; 6 ; 5 9	6,7 jours
Rhénium 188	¹⁸⁸ Re	β ⁻ X, γ	2 118 ; 1962 155 ; 63	72 ; 25 15 ; 2	17 heures
Astate 211 (et descendants)	²¹¹ At	α γ	7 450 ; 5 869 570 ; 1 000 ; 70 ; 80	58 ; 42 41 ; 31 ; 24 ; 19	7,2 heures
Plomb 212 (et descendants)	²¹² Pb	α β ⁻ γ e ⁻	8 785 ; 6 051 ; 6 090 2 246 ; 1794 ; 1519 2 615 ; 583 ; 1620 148 ; 230	71 ; 25 ; 10 53 ; 20 ; 18 36 ; 30 ; 3 33 ; 7	10,6 heures
Bismuth 213 (et descendants)	²¹³ Bi	α β ⁻ γ e ⁻	8 377 ; 5 870 1 420 ; 980 ; 1 825 440 ; 1 567 ; 117 347	100 ; 2 64 ; 32 ; 2 28 ; 2 ; 2 4	45,7 minutes
Radium 223 (et descendants)	²²³ Ra	α β ⁻ X, γ e ⁻	7 386 ; 6 623 ; 6 819 1 422 ; 1 373 ; 541 269 ; 351 ; 832 200 ; 130 ; 266	100 ; 84 ; 80 100 ; 93 ; 5 14 ; 13 ; 3 12 ; 6 ; 3	11,4 jours

À l'exception du tritium, seuls les photons X et γ d'énergie supérieure à 15 keV ainsi que les β et électrons d'énergie moyenne supérieure à 100 keV figurent dans le tableau ci-dessus (pensé pour la radioprotection des travailleurs). Les émissions radioactives dont le taux d'émission est inférieur à 2 % n'y sont pas mentionnées.

22. Fiches IRSN/INRS « Radioprotection : radionucléides » : www.inrs.fr en tapant « radionucléides » dans le moteur de recherche ou www.inrs.fr/FR/expertise/publications-professionnels/Pages/Fiches-Radionucleides-IRSN-INRS.aspx.

Composition du comité scientifique

Autorité de sûreté nucléaire (ASN), Paris

- A. Damiens
- J. Fradin
- I. Koch

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

- D. Céliar
- A. Cordelle

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

- T. Lahaye
- P. Mathieu

Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

- A. Bourdieu
- C. Gauron
- P. Hache

Experts

- P. Barbey, Université de Caen-Normandie
- P. Frot, INSERM
- M.L. Gaab, GIP CYCERON
- J.M. Horodyski, CNRS/INP/iRSD
- P. Labarre, INSERM
- S. Rigaud, Institut de recherche Pierre Fabre
- F. Testas, Institut Curie recherche
- C. Thieffry, CNRS/IN2P3

✚Tableau II

EXEMPLES DES PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES UTILISÉS EN SOURCES NON SCELLÉES DANS LE SECTEUR DE LA RECHERCHE (LISTE NON EXHAUSTIVE). APPLICATIONS COURANTES

Protocoles expérimentaux courants	Radionucléides
Études de biodistribution classique	^{14}C , ^{35}S , ^{125}I , ^3H
Études de métabolisme tissulaire (organes)	^{14}C , ^{35}S , ^{125}I , ^3H
Études d'excrétion (urines, fèces, bile)	^{14}C , ^{35}S , ^{125}I , ^3H
Techniques d'imagerie <i>ex vivo</i> sur coupes d'animal entier ou d'organe	^{14}C , ^{123}I , ^{125}I , ^{33}P , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^3H
Études par imagerie TEMP-TDM (SPECT/CT)	^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{123}I
Études par imagerie TEP-TDM (PET/CT)	^{11}C , ^{18}F , ^{64}Cu , ^{68}Ga
Essai de radiothérapie vectorisée sur des modèles d'animaux porteurs de tumeurs avec des vecteurs marqués par des émetteurs β^- ou e^- Auger	^{177}Lu , ^{131}I , ^{90}Y
Essai de radiothérapie vectorisée sur des modèles d'animaux porteurs de tumeurs avec des vecteurs marqués par des émetteurs α	^{212}Pb , ^{213}Bi , ^{211}At , ^{223}Ra