

Médecine nucléaire

Diagnostic *in vivo* TEP-TDM ou TEP ⁽¹⁾ au fluor 18 et autres émetteurs de positons

Définition : acte à visée diagnostique utilisant actuellement du fluor 18 principalement sous forme de ¹⁸F-FDG (fluoro-déoxy-glucose) administré à un patient.

La mise en œuvre d'une unité TEP doit répondre aux exigences réglementaires demandées pour toute unité de médecine nucléaire.

D'autres radiopharmaceutiques marqués soit au ¹⁸F (ex : ¹⁸F-FNA, ¹⁸F-FDOPA et ¹⁸F-Fcholine⁽²⁾...) soit avec d'autres émetteurs de positons (ex : ⁶⁸Ga pour les tumeurs endocrines digestives) peuvent être utilisés ; néanmoins la démarche de cette fiche reste applicable.

La détention et l'utilisation de radionucléides à des fins de médecine nucléaire sont subordonnées à une autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en application du code de la santé publique.

L'autorisation est personnelle, non transférable et délivrée pour une période n'excédant pas 5 ans, renouvelable à la demande de l'intéressé, à un médecin possédant les qualifications requises.

1. PERSONNEL CONCERNÉ

L'ensemble des dispositions ci-après s'applique aux salariés de l'établissement, aux travailleurs indépendants, aux intérimaires, aux stagiaires et aux salariés des entreprises intervenantes. Ces dispositions imposent une coordination des mesures de radioprotection entre les différents intervenants, assurée par l'employeur de l'établissement où sont mises en œuvre les sources.

Ces dispositions doivent être incluses dans le plan de prévention pour les entreprises intervenantes.

Principaux personnels concernés :

- médecin ;
- personnel paramédical : MERM ⁽³⁾, préparateur en pharmacie hospitalière ; infirmier ;
- personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM) ;
- radiopharmacien ;

(1) TEP : Tomographie par émission de positons ; TEP-TDM : TEP couplée à un scanner pour la plupart des installations.

(2) Radiopharmaceutiques bénéficiant de l'autorisation de mise sur le marché : ¹⁸F-FNA, fluorure de sodium pour les scintigraphies osseuses, ¹⁸F-FDOPA fluorodihydroxyphénylalanine en neurologie et ¹⁸F-Fcholine fluorométhylcholine pour le cancer de la prostate et le carcinome hépatocellulaire.

(3) Manipulateur en électroradiologie médicale.

Cette fiche, qui fait partie d'une collection réalisée par type d'activité, concerne les installations de médecine nucléaire. Elle est destinée aux personnes impliquées dans la radioprotection des travailleurs : personnes compétentes en radioprotection (PCR), médecins du travail et responsables (employeurs...). Elle s'adresse aussi aux utilisateurs de ces techniques (manipulateurs, médecins...), mais n'a pas pour objet d'aborder les aspects concernant la radioprotection des patients.

Chaque fiche présente les différentes procédures, les types de dangers spécifiques, l'analyse des risques et leur évaluation ainsi que les méthodes de prévention.

L'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) a complété cette fiche en proposant un exemple d'étude de poste représentatif d'une installation-type présentant une application de la démarche de mise en place du zonage et du classement des travailleurs.

Une fiche rappelle les textes de loi et la réglementation concernant la radioprotection dans le domaine médical (cf. fiche FR3).

L'ensemble de cette collection a été réalisé par un groupe de travail 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). Voir la composition du groupe page 84.

Cette fiche annule et remplace la fiche ED 4238 et la fiche correspondante du TC 106.

- stagiaire ;
- personnel d'entretien ;
- personnel de maintenance ;
- personnel du service technique.

2. DÉROULEMENT DES PROCÉDURES

- L'utilisation du ^{18}F -FDG se déroule selon différentes séquences :
 - réception, entreposage ;
 - manipulation, contrôle de qualité et dispensation des radiopharmaceutiques ;
 - administration des radiopharmaceutiques et attente des patients ;
 - examens et interprétation ;
 - entretien médical et consignes de sortie ;
 - collecte, gestion et élimination des déchets et effluents ;
 - contrôle de qualité et étalonnage des appareils avec utilisation de sources scellées ou non scellées.
- Sauf exception appréciée par l'équipe médicale, les accompagnants ne sont pas autorisés à pénétrer dans les zones réservées à l'injection des radiopharmaceutiques aux patients, à l'attente des patients après injection et à l'examen.

3. DANGERS

Sources scellées et générateur X

Émissions photoniques et/ou β des sources d'étalonnage et des sources des activimètres adaptés à la mesure du fluor 18

Exemples : césium 137, germanium 68...

Émission de rayonnements X si utilisation d'un scanner (cf. fiche FR 4)

Sources non scellées

Fluor 18 et autres radionucléides : émission β et photoniques de 511 keV et dispersion de radionucléides

4. IDENTIFICATION DU RISQUE RAYONNEMENT IONISANT

Sources scellées et générateur X

Exposition externe à distance ou au contact

Sources non scellées

Exposition externe à distance ou au contact

Exposition interne (inhalation ou ingestion ou plaie cutanée)

Cf. tableau des principaux radionucléides en annexe

5. ÉVALUATION DU RISQUE ET DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION

Collaboration médecin du travail-personne compétente en radioprotection (PCR).

L'activité étant soumise à autorisation, la PCR doit être désignée parmi les salariés de l'établissement.

1. Éléments d'évaluation du risque

L'étude dosimétrique des postes de travail liée au déroulement des procédures prend en compte notamment l'activité du fluor 18 manipulé.

Les niveaux d'exposition sont estimés par des :

- données individuelles :
 - historique des expositions externe et interne du personnel ;
 - résultats de la dosimétrie individuelle passive et opérationnelle ;
 - résultats des dosimètres des extrémités.

NB : compte tenu de la période du ^{18}F , l'examen radiotoxicologique des urines et l'examen anthroporadiométrique ne donneront pas de résultats significatifs sauf en cas de proximité immédiate des moyens de mesure.

- données collectives :
 - résultats des contrôles d'ambiance (mesures du rayonnement photonique ambiant) ;
 - résultats des contrôles de non-contamination de locaux ;
 - résultats des contrôles de radioprotection de l'installation (à la mise en service puis périodiquement).

Pour la réalisation de cette étude, la PCR peut faire appel aux compétences de la PSRPM.

2. Délimitation des zones contrôlées et surveillées

Ces zones sont définies par l'employeur sur proposition de la PCR, sur la base de l'évaluation des risques radiologiques, s'appuyant notamment sur les niveaux d'exposition, les caractéristiques des sources et les résultats des contrôles techniques de radioprotection.

Compte tenu des conditions habituelles de pratique

- Les locaux dans lesquels des radionucléides sont manipulés régulièrement sont classés en zone contrôlée :
 - zone de réception des produits radioactifs ;
 - laboratoire chaud (radiopharmacie ⁽⁴⁾) ;
 - salles d'administration des radionucléides ;
 - zones de manipulation et d'entreposage des déchets solides et liquides.

(4) Si existence d'une pharmacie à usage intérieur (PUI), soumise à une autorisation par l'agence régionale de santé (ARS), une radiopharmacie est implantée dans le service de médecine nucléaire.

■ Les salles de caméra TEP sont par principe classées en zone contrôlée.

■ Les autres locaux d'accès réglementé sont par principe classés en zone surveillée.

Toutefois, ce classement peut être requalifié en fonction des niveaux d'exposition ; ainsi, s'assurer que les valeurs mesurées respectent les prescriptions de l'arrêté relatif à la délimitation des zones réglementées. De même, certaines parties de locaux peuvent nécessiter un classement spécifique (exemple boîte à gants).

Cette fiche est complétée par un exemple d'étude de poste en annexe.

3. Classement du personnel en catégories A et B

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

Il sera apprécié avec la PCR selon les études de poste propres à chaque service.

À titre indicatif :

Personnel concerné	Catégorie proposée
Médecin	B
Radiopharmacien	A ou B en fonction des pratiques et de l'évaluation des risques au poste de travail
Manipulateur en électroradiologie médicale (MERM), préparateur en pharmacie hospitalière, infirmier	A B en l'absence de manipulation de source et en fonction des études de poste
Personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM)	B
Personnel d'entretien	B
Stagiaire	A ou B selon le poste d'affectation <i>Nota : pas de poste d'affectation impliquant un classement en cat. A pour un stagiaire < 18 ans</i>
Autres personnes susceptibles de pénétrer occasionnellement en zone surveillée ou contrôlée	Appréciation au cas par cas
Secrétaire, personnel d'accueil	Ne devant pas exercer en zones réglementées, ne sont donc pas concernés par le classement

4. Choix de la surveillance dosimétrique

Dosimétrie externe passive	Dosimétrie opérationnelle	Dosimétrie interne
<p>CATÉGORIE A</p> <ul style="list-style-type: none"> Dosimétrie poitrine mensuelle Dosimétrie des extrémités par bague si manipulation de sources radioactives 	Obligatoire pour pénétrer en zone contrôlée	Vu la période très courte du fluor 18 (110 mn), les examens anthroporadiométriques et les examens urinaires actuellement proposés ne sont pas préconisés en suivi systématique, sauf en cas de proximité immédiate de ces appareils de mesure
<p>CATÉGORIE B</p> <ul style="list-style-type: none"> Dosimétrie poitrine mensuelle ou trimestrielle selon l'étude de poste Dosimétrie des extrémités par bague si manipulation de sources radioactives <p><i>Nota : vérifier si les valeurs obtenues en expositions annuelles des extrémités permettent toujours un classement en cat. B</i></p>		
<p>NON CLASSÉ</p> <p>Appréciation au cas par cas</p>	Obligatoire pour pénétrer en zone contrôlée (dosimètre opérationnel ou tout autre moyen de mesure)	Sans objet

6. STRATÉGIE DE MAÎTRISE DE RISQUE

1. Réduction des risques

Mise en œuvre des sources et installation par des professionnels formés et qualifiés

■ Prévention générale :

- connaître et respecter les consignes de travail et de sécurité ;
- utiliser des équipements de protection (cf. § 6.3).

■ Manipulation :

- confiner les sources, utiliser les activités strictement nécessaires et ranger les sources après utilisation ;
- limiter le temps de manipulation des sources ;
- limiter le temps de présence auprès d'un patient injecté ;
- travailler de façon à éviter les contaminations de surface ;
- contrôler régulièrement les surfaces de travail.

2. Mesures techniques concernant l'installation

En complément des règles d'installation des unités de médecine nucléaire (cf. fiche FR 5 « Médecine nucléaire, diagnostic *in vivo* hors TEP ») :

Mesures générales

- Présence d'une zone conçue pour les injections et l'attente des patients injectés avant examen.
- Installation de la caméra TEP dans une pièce spécifique ; le poste de commande doit être à l'extérieur et équipé d'un système (généralement une vitre en verre au plomb) permettant de surveiller le patient en permanence.
- Dans les cas où la caméra TEP est couplée à un scanner, la salle devra répondre aux critères d'aménagement des scanographes (cf. fiche FR 4 « Scanographie en milieu médical »).
- La nature et l'épaisseur des parois doivent être adaptées aux photons de 511 keV.

Mesures techniques concernant les locaux classés « zone contrôlée ou surveillée »

- Les box individuels d'injection doivent :
 - se trouver à proximité de la salle de la caméra TEP et du laboratoire chaud (ou radiopharmacie),
 - être pourvus de parois adaptées aux photons de 511 keV.
- Le stockage, la manipulation et les mesures d'activité des sources doivent avoir lieu dans le laboratoire chaud (ou radiopharmacie).
- Le laboratoire chaud (ou radiopharmacie) comporte :
 - une enceinte blindée adaptée au fluor 18, ventilée, en dépression sous filtre (changé au moins tous les ans), équipée de gants ainsi que d'un activimètre adapté à l'énergie du ¹⁸F ;
 - cette enceinte dédiée au fluor 18 peut être éventuellement utilisée pour l'iode 131 (obtenir dans tous les cas du fabricant les activités maximales pouvant être stockées et manipulées).

Mesures spécifiques concernant les déchets et effluents contaminés

- Effluents liquides contaminés : cuves d'entreposage.
- Mesures concernant les déchets solides contaminés :
 - tri et conditionnement des déchets le plus en amont possible ;
 - dépôt du matériel utilisé (flacons, seringues, aiguilles...) dans des réceptacles adaptés à l'énergie du fluor 18 (poubelles, boîtes à aiguilles plombées...);
 - tenue d'un registre permettant d'assurer la traçabilité des déchets contaminés.
- Intégration des modalités précisées ci-dessus dans le plan de gestion des déchets et effluents contaminés de l'établissement.

Contrôles réguliers

- du matériel de mesure et de détection ;
- des sources scellées ;
- des hottes et enceintes ;
- des filtres ;

- de la ventilation générale ;
- des signalisations lumineuses et sécurités liés au TDM.

3. Mesures de protection

Étudier toutes les possibilités de méthodes automatiques ou semi-automatiques de préparation et d'administration.

- Port de vêtements de travail (vêtement à manches longues recommandée) et surchaussures réservés à l'unité de médecine nucléaire, sans objet personnel ni bijou.
- Gants à usage unique :
 - à porter lors de toute manipulation de sources radioactives, y compris lors du travail dans les enceintes ou les hottes ;
 - à changer régulièrement ;
 - à enlever selon la procédure adaptée ;
 - à éliminer avec les déchets contaminés.
- Lavage régulier des mains.

Contrôle systématique des mains et pieds après manipulation et avant la sortie de l'unité de médecine nucléaire.

- Utilisation de pinces longues pour la manipulation des flacons de radionucléides.
- Écrans de protection dont la nature et l'épaisseur sont adaptées aux photons de 511 keV du fluor 18 :
 - protège-seringues, protège-flacons, conteneurs de transport...
 - écrans de protection mobiles à intercaler impérativement entre le patient injecté et le personnel.

Compte tenu de l'énergie du rayonnement émis par le fluor 18, le port du tablier de protection radiologique n'apporte aucune protection supplémentaire et donc n'est pas justifié.

4. Formation et information

- Remise, par l'employeur, d'une notice d'information spécifique à chaque personne susceptible d'intervenir dans les zones contrôlées de l'unité.
- Diffusion de consignes générales de sécurité applicables dans l'unité de médecine nucléaire (incluant notamment les consignes incendie).
- Mise à disposition de la conduite à tenir en cas d'incident de contamination.
- Affichage des consignes de travail adaptées à la nature des expositions et aux opérations réalisées et comportant les noms et les coordonnées de la PCR et du médecin du travail.
- Information et formation des personnels :
 - mise en œuvre par la PCR avec le concours du médecin du travail,
 - renouvellement de la formation adaptée au risque encouru au moins tous les 3 ans,
 - sensibilisation des femmes sur la nécessaire déclaration précoce

des grossesses et sur les éventuels aménagements du poste de travail applicables après avis du médecin du travail.

- Information des services devant accueillir des patients ayant reçu une injection de radionucléides : tableau comparatif des activités résiduelles en fonction du temps écoulé. Ce tableau peut être utilisé afin de limiter l'exposition du personnel et de l'entourage et de gérer d'éventuels déchets contaminés (couches ⁽⁵⁾).

Débits maximum ($\mu\text{Sv/h}$) observés pour une injection de 400 MBq de fluor 18 :

Tps après injection	Activité résiduelle	Débit à 1 m
2 h	160 MBq	20 $\mu\text{Sv/h}$
6 h	40 MBq	5 $\mu\text{Sv/h}$
12 h	5 MBq	0,6 $\mu\text{Sv/h}$

5. Prévention

- Fiche d'exposition :

- établie par l'employeur ;
- comportant la nature du travail et des rayonnements, les caractéristiques des sources, les périodes d'expositions (avec les expositions anormales éventuelles) et les autres risques ;
- mention souhaitable de l'évaluation de dose prévisionnelle individuelle.

- Surveillance dosimétrique :

- Dosimétrie passive :

Mise en place :

- Chaque employeur (y compris le chef d'entreprise extérieure ou de travail temporaire) est responsable de la dosimétrie passive de ses salariés ; à ce titre, il est tenu de fournir les dosimètres passifs à son propre personnel.
- Le personnel non-salarié prend les dispositions nécessaires pour assurer sa surveillance dosimétrique.
- Stagiaire : la dosimétrie passive est assurée par l'employeur de la personne sous l'autorité de laquelle le stagiaire est placé (établissement d'accueil) sauf accord particulier.

Communication des résultats :

- Le médecin du travail communique et commente les résultats dosimétriques individuels au salarié.
- L'organisme agréé chargé du traitement des dosimètres communique les résultats à SISERI ⁽⁶⁾ et au moins une fois par an au travailleur.

Dans le cas d'exercice sur différents sites, outre l'application des règles générales relatives à la dosimétrie passive, il est recom-

mandé d'utiliser un dosimètre opérationnel quel que soit le type de zone réglementée afin de faciliter l'identification des niveaux et de l'origine des expositions ⁽⁷⁾.

- Dosimétrie opérationnelle :

Mise en place :

- Il appartient à chaque employeur de fournir les dosimètres opérationnels à son propre personnel quand leur utilisation s'impose.
- 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.
- Stagiaires : la dosimétrie opérationnelle est assurée par l'employeur de la personne sous l'autorité de laquelle le stagiaire est placé (établissement d'accueil).

Paramétrage :

- La PCR paramètre les seuils d'alarme des dosimètres opérationnels qu'elle fournit.

Communication des résultats :

- La PCR communique les résultats aux intéressés, au médecin du travail et à l'IRSN (SISERI ⁽⁷⁾). 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. Incident et dysfonctionnement

- Prévoir les protocoles en cas de contamination des locaux et/ou des personnes.

- Déclarer tout dysfonctionnement, incident et accident au responsable de l'unité de médecine nucléaire et à la PCR qui prennent toutes dispositions pour maîtriser l'événement, en connaître les causes et en tirer les enseignements.

- Prévenir les différents responsables concernés : l'employeur, la PCR ainsi que le médecin du travail (cf §7).

- Si nécessaire, prévoir une déclaration de matériovigilance auprès de l'AFSSAPS, Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (et du référent éventuel du site).

- En cas d'événement significatif en radioprotection déclarer l'événement à la Division de l'ASN ⁽⁸⁾ territorialement compétente.

- En cas de suspicion de dépassement des valeurs limites réglementaires : prévenir l'inspecteur du travail.

- En cas d'accident du travail, faire une déclaration à la Caisse primaire d'assurance maladie (CPAM).

(5) Cf fiche « Prise en charge de patient sortant de médecine nucléaire » Ed4242.

(6) SISERI : système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants.

(7) Circulaire DGT ASN n°4 du 21 avril 2010.

(8) Divisions de l'ASN: www.asn.fr/index.php/L-ASN-en-region

ASN : [www.asn.fr/Professionnels/Les guides de déclaration des événements significatifs](http://www.asn.fr/Professionnels/Les_guides_de_declaration_des_evenements_significatifs).

7. SURVEILLANCE MÉDICALE

1. Surveillance médicale renforcée

Tout travailleur classé en catégorie A ou B bénéficie d'une surveillance médicale renforcée ⁽⁹⁾.

■ Personnel de l'établissement

Visite médicale :

- avant affectation au poste pour tous les travailleurs ;
- surveillance médicale au moins une fois par an pour les travailleurs classés en catégorie A ;
- surveillance médicale au moins tous les 2 ans pour les travailleurs classés en catégorie B ;
- individualisée en s'appuyant sur la fiche d'exposition du travailleur établie par l'employeur ;
- information spécifique aux femmes en âge de procréer sur l'intérêt de déclarer au plus tôt sa grossesse et/ou l'allaitement ;
- recherche de lésions cutanéomuqueuses (y compris les tympans) pouvant favoriser la pénétration de radionucléides et gêner la décontamination ;
- évaluation au cas par cas des répercussions d'autres pathologies sur les conséquences radiobiologiques d'une contamination.

Examens complémentaires :

- le médecin du travail peut demander tout examen complémentaire et/ou spécialisé qu'il juge nécessaire ;
- examens anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques urinaires en cas d'utilisation d'autres radionucléides que le fluor 18 ;
- numération formule sanguine (NFS) à l'embauche conseillée comme examen de référence puis adaptée à la surveillance individuelle.

Carte individuelle de suivi médical remise par le médecin du travail à tout travailleur relevant des catégories A ou B (contacter l'IRSN : www.siseri.com).

■ Personnel non-salarié

Les travailleurs non-salariés sont tenus de prendre les dispositions nécessaires afin d'être suivis médicalement dès lors qu'il existe, pour eux-mêmes, un risque d'exposition généré par leur activité.

■ Personnel d'entreprise de travail temporaire (MERM...)

- Le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice suit médicalement les salariés affectés aux postes nécessitant une surveillance médicale renforcée en raison du risque du poste occupé pendant toute la durée de leur mission.
- Le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice est tenu de vérifier, avant le début de la mission, l'absence de contre-indi-

cation médicale à l'affectation au poste occupé. Il prescrit les examens complémentaires éventuellement nécessaires et informe de leurs résultats le médecin du travail de l'entreprise de travail temporaire. Ces examens sont à la charge de l'entreprise utilisatrice.

■ Entreprises extérieures (installateur, technicien de maintenance...)

- Mise en place d'un plan de prévention précisant les obligations respectives de l'employeur et de l'entreprise extérieure.
- 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 responsable de l'entreprise utilisatrice doit faciliter l'accès au poste de travail au médecin du travail de l'entreprise extérieure.

2. Grossesse

■ Il est indispensable d'inciter le personnel féminin à informer le plus tôt possible le médecin du travail de sa grossesse pour permettre la mise en place des mesures 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.

■ Aucune femme enceinte ne peut être affectée 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 (limitation absolue).

■ Les tâches compatibles avec la poursuite de l'activité d'une femme enceinte sont définies par le médecin du travail en concertation avec la PCR en fonction des études de poste.

■ En cas de maintien dans l'unité, une dosimétrie opérationnelle permanente est fortement recommandée et **une attention particulière doit être portée sur les risques d'exposition interne.**

3. Allaitement

■ Aucune femme allaitant ne peut être affectée à un poste de travail comportant un risque d'exposition interne à des rayonnements ionisants.

■ Les tâches compatibles avec la poursuite de l'activité d'une femme allaitant sont définies par le médecin du travail en concertation avec la PCR en fonction des études de poste et doivent **exclure tout risque d'exposition interne** notamment lors de la manipulation et de l'administration des radiopharmaceutiques.

4. Dossier médical et suivi post-professionnel

■ Le dossier médical

- Il comporte notamment :

- le double de la fiche d'exposition établie par l'employeur avec l'aide du médecin du travail ;

(9) Décret n° 2012-135 du 30 janvier 2012 relatif à l'organisation de la médecine du travail.

- les dates et les résultats des examens anthroporadiométriques et radiotoxicologiques urinaires effectués en cas d'utilisation d'autres radionucléides que le fluor 18 ;
- le relevé dosimétrique avec les doses efficaces et les doses équivalentes.
- Il est conservé pendant au moins 50 ans après la fin de la période d'exposition.
- Ce dossier est communiqué, sur sa demande, au médecin inspecteur régional du travail (MIRT) 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.

■ Suivi post-professionnel

Il est établi conformément à l'arrêté du 6 décembre 2011 (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) ; l'attestation d'exposition est délivrée par l'employeur.

5. Prise en charge des anomalies et incidents

■ Exposition externe

- En cas de dépassement d'un seuil d'alarme ou en cas de suspicion d'incident, le porteur contacte sa PCR.
- En l'absence de dosimétrie opérationnelle et en cas de suspicion d'incident, un traitement en urgence du dosimètre passif est effectué.
- Si l'exposition est supérieure au niveau habituel pour le poste considéré, une enquête est dans tous les cas entreprise.
- En cas de discordance entre les résultats de dosimétrie passive et opérationnelle, le médecin du travail détermine dans les meilleurs délais, après enquête, la dose reçue par le travailleur en ayant recours si nécessaire à l'IRSN. La dose finalement retenue est transmise à l'IRSN (SISERI).

■ Contamination – Principes généraux

- Évaluer rapidement l'importance de la contamination et mettre en œuvre le protocole de décontamination.
- Dans tous les cas, la PCR, le chef de service et le médecin du travail doivent être prévenus sans délai.
- Si nécessaire, contacter le dispositif d'alerte de l'IRSN :

06 07 31 56 63

■ Contamination d'une personne

- Avant d'entreprendre une action de décontamination, contrôler ou faire contrôler les mains, la blouse, les cheveux, les chaussures... (en cas de douche, lavage des mains préalable de façon à éviter toute contamination cutanée secondaire).
- Procéder à la décontamination par lavage à l'eau savonneuse, sans frotter ou utiliser un détergent de décontamination (pH neutre) et contrôler l'efficacité de cette décontamination.

- En cas de projection oculaire : laver sous l'eau à température ambiante.
- Le médecin du travail prévoit :
 - un nouvel essai en cas d'échec de décontamination. En cas d'échec après 2 ou 3 essais, mettre un pansement étanche sur la zone contaminée et contacter le dispositif d'alerte de l'IRSN (le pansement a pour rôle de faire transpirer la peau en cas de contamination cutanée profonde qui résiste au lavage et faciliter ainsi son élimination) ;
 - un prélèvement nasal par mouchage dans un mouchoir jetable et un contrôle de l'activité de ce papier ;
 - un examen anthroporadiométrique et/ou un l'examen radiotoxicologique urinaire ;
 - une mesure de l'activité surfacique cutanée (appui possible de l'IRSN).
- 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.

Tout incident ou accident de contamination d'un salarié doit être déclaré ou inscrit sur le registre de déclaration des accidents bénins.

■ Contamination des locaux et/ou du matériel

- Déterminer l'étendue de la zone contaminée et, si nécessaire, délimiter et baliser un périmètre de sécurité.
- Confiner le déversement ou la fuite avec un matériau absorbant.
- 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.
- La PCR évalue l'importance de la contamination et effectue la décontamination (port de gants, surblouse et surchaussures obligatoire) avec du matériel jetable selon les consignes affichées dans le local.

8. 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 à ces différents résultats :
 - bilan statistique des expositions de l'unité de médecine nucléaire ;
 - bilan des dysfonctionnements relevés : matériovigilance et compte rendu des interventions techniques... ;
 - bilan des contrôles effectués.

- La consultation régulière de SISERI à des fins d'optimisation et d'information par le médecin du travail et la PCR permettent d'apprécier l'évolution des expositions des travailleurs.
- Les résultats des différents contrôles techniques et d'ambiance (ainsi que l'analyse préalable du niveau d'exposition) sont intégrés au document unique concernant l'évaluation des risques.

9. AUTRES RISQUES

- Risques biologiques : accident d'exposition au sang (AES), tuberculose...
- Port de charges lourdes : transfert de malades alités, matériels et conteneurs plombés avec risque de troubles musculosquelettiques (TMS).
- Risques physiques : électriques, UV...

ANNEXE 1

Caractéristiques des radionucléides utilisés en tomographie par émission de positons.

Radionucléides utilisés en sources non scellées pour le diagnostic <i>in vivo</i>		Période	Nature des principales émissions
Fluor 18	¹⁸ F	1,83 heures	Bêta et photons d'annihilation
Gallium 68	⁶⁸ Ga	1,13 heures	Bêta et photons d'annihilation
Iode 124	¹²⁴ I	4,18 jours	Gamma, bêta et photons d'annihilation

Caractéristiques des principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire pour l'étalonnage et le contrôle.

Radionucléides utilisés en sources scellées		Utilisation	Période émissions	Nature des principales
Césium 137	¹³⁷ Cs	Étalonnage	30 ans	Bêta et Gamma
Sodium 22	²² Na	Étalonnage de caméra TEP	2,6 ans	Bêta et Gamma
Germanium 68	⁶⁸ Ge	Étalonnage et correction d'atténuation TEP	288 jours	Bêta et Gamma

COMPOSITION DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Institutions

- AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (ASN), PARIS
 - C. HÉRAIN
 - C. MACHACEK
 - P. MÉNÉCHAL
- INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (IRSN), FONTENAY-AUX-ROSES
 - B. AUBERT
 - D. CELIER
 - J.L. REHEL
 - J.P. VIDAL
- MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI ET DE LA SANTÉ
DIRECTION GÉNÉRALE DU TRAVAIL (DGT), PARIS
 - R. BARBE
 - T. LAHAYE
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS), PARIS
 - C. GAURON

Experts

- C. BARRET, HÔPITAL SALPÊTRIÈRE, AP-HP PARIS
- A. BIAU, EXPERT
- D. DONNARIEIX, CENTRE JEAN PERRIN, CLERMONT-FERRAND
- D. GAMBINI, SERVICE CENTRAL DE LA MÉDECINE DU TRAVAIL, AP-HP PARIS
- C. GONDRAIN, HÔPITAL RENÉ HUGUENIN, INSTITUT CURIE, PARIS
- C. GUÉRIN, HÔPITAL NECKER, AP-HP PARIS
- J.L. MARANDE, HÔPITAL COCHIN, PARIS
- J. MERCIER, ASSOCIATION FRANÇAISE DES TECHNICIENS EN MÉDECINE NUCLÉAIRE, CHARLEVILLE-MÉZIÈRES
- F. PAYCHA, CHU LOUIS MOURIER, AP-HP COLOMBES
- N. PIERRAT, INSTITUT CURIE, PARIS



ANNEXE 2

EXEMPLE D'UNE ÉTUDE DE POSTE EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

Applications diagnostiques *in vivo* avec TEP

Attention, l'exemple ci-dessous est l'illustration d'une installation-type et de pratiques standard. Il ne saurait refléter la situation de l'ensemble des installations et des pratiques dans les services de médecine nucléaire destinés au diagnostic *in vivo*, et ne doit pas être utilisé en l'état pour définir les zones réglementées. La méthodologie présentée ci-dessous doit être utilisée sur la base des mesures réalisées sur chaque installation et appliquée en tenant compte des pratiques locales.

Le zonage doit être réalisé en retenant l'heure de travail la plus pénalisante du point de vue de la radioprotection et en ne considérant pas le port éventuel d'équipements de protection individuelle, seuls les équipements de protection collective étant à prendre en compte. Pour mémoire, les protège-seringues et protège-flacons, sont considérés comme équipements de protection collective ⁽¹⁾ et interviennent donc pour le zonage. En médecine nucléaire, le zonage doit prendre en compte l'exposition du corps entier et/ou celle des extrémités en fonction des tâches réalisées et des risques associés.

→ 1. Vis-à-vis de l'exposition du corps entier, la méthodologie consiste à identifier pour chaque local la source, le radionucléide et l'activité effectivement présente qui peuvent conduire à l'exposition la plus élevée sur une heure. Sur la base des informations précédentes et des données du *tableau 1*, le rayon, R, de la zone réglementée est calculé à partir de la formule :

$$D_I = \frac{\dot{D}_e C}{R^2} \quad \text{soit} \quad R = \sqrt{\frac{\dot{D}_e C}{D_I}}$$

avec :

- D_I : dose efficace en une heure (μSv) à la limite de la zone selon le type de zone choisi et les valeurs figurant dans l'arrêté zonage,
- C : temps de présence de la source dans l'heure considérée (h),
- \dot{D}_e : débit d'équivalent de dose dû à l'exposition externe ($\mu\text{Sv/h}$) à 1 m de la source mesurée ou déduite du *tableau 1*,
- R : rayon de la zone (m).

Si les dimensions calculées de la zone sont proches des dimensions de la pièce, la zone définie est étendue aux parois du local.

Pour un service de médecine nucléaire réalisant des diagnostics *in vivo*, le risque principal est dû à l'exposition externe et non à la contamination atmosphérique même en cas d'exploration pulmonaire. La dose efficace engagée consécutive à la contamination interne est généralement très faible ($\approx 1 \mu\text{Sv}$ par mois) et donc considérée comme négligeable.

Tableau 1 : Récapitulatif des principaux radionucléides utilisés, des activités administrées et des débits d'équivalent de dose associés (d'après Radionucléides & Radioprotection (4^e édition) Delacroix et al. 2004 pour une source de 10 ml en flacon).

Radionucléide	Débit à 1m ($\mu\text{Sv/h/GBq}$)	Radionucléide	Débit à 1m ($\mu\text{Sv/h/GBq}$)
^{18}F	160	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	22
^{51}Cr	5,3	^{111}In	72
$^{57}\text{Co}^*$	22	^{123}I	34
^{67}Ga	25	^{201}Tl	18

* en source scellée pour contrôle de qualité des caméras à scintillations.

→ 2. En ce qui concerne les extrémités, il est difficile d'envisager que dans des conditions habituelles de travail, la limite de 50 mSv en une heure (zone jaune/zone orange) puisse être dépassée, aussi les hottes et enceintes blindées seront au plus classées en zone jaune.

Exploitation de l'étude

Certaines des valeurs numériques indiquées ci-après sont tirées d'une étude réalisée dans un service de médecine nucléaire.

Il s'agit d'un service de médecine nucléaire qui ne réalise que des explorations diagnostiques et comprenant 2 secteurs, l'un dédié aux explorations conventionnelles et l'autre dédié à la TEP. Il est composé de la salle d'examen, d'une radiopharmacie (comprenant 2 enceintes blindées dont une dédiée à la TEP), d'une salle et de box d'injection et d'une salle d'attente après injection (dite chaude). La première étape consiste à faire, par type de local, le bilan des tâches réalisées, des radionucléides utilisés et des gammes d'activité associées pour l'heure la plus pénalisante.

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

Secteur diagnostique hors TEP : voir FR 5

Secteur TEP

→ Box d'injection TEP

Le débit d'équivalent de dose à 1 m d'un patient injecté de 400 MBq de FDG est de l'ordre de 60 $\mu\text{Sv/h}$. Chaque box sera classé en zone contrôlée jaune. Il n'y a pas lieu de définir une zone orange car celle-ci se confond avec le patient. Le risque d'exposition des extrémités ne conduit pas à modifier ce zonage.

→ Salle TEP-TDM

L'examen TEP se divise en deux étapes : dans un premier temps, on réalise un examen scanographique puis dans un second temps, une acquisition scintigraphique. L'examen dure environ 25 minutes.

Après une heure de repos, le débit d'équivalent de dose à un mètre du patient est de l'ordre de 30 $\mu\text{Sv/h}$. Comme l'appareil est occupé au plus 50 minutes sur une heure, on peut retenir cette valeur comme débit horaire moyen.

À celle-ci se rajoute l'exposition consécutive à l'acquisition scanographique. Un scanner (thoraco-abdominopelvien) délivre une dose à un mètre d'environ 60 μSv , soit 120 μSv pour 2 scanners dans l'heure.

Au total l'exposition sur une heure s'élève à $\approx 150 \mu\text{Sv}$ à 1 m. Ainsi, dans la salle TEP-TDM, une zone contrôlée orange de 25 cm autour du patient est définie et une zone contrôlée jaune s'étend au reste du local.

Dans la salle de commande de l'appareil TEP-TDM, derrière la vitre plombée, l'équivalent de dose est inférieur à 7,5 μSv en 1 heure. La pièce peut donc être classée en zone surveillée.

→ Bureau de consultation

Dans ces bureaux sont reçus les patients (injectés ou non) pour un entretien avec un médecin. L'entretien dure environ 20 minutes et 2 patients sont reçus par heure. Le débit d'équivalent de dose à un mètre du patient est de l'ordre de 25 $\mu\text{Sv/h}$. Ainsi la dose susceptible d'être reçue à un mètre en une heure est d'environ 17 μSv . Le local sera classé en zone contrôlée verte avec une zone contrôlée jaune de 0,8 m autour du patient.

Autres locaux

→ Radiopharmacie (laboratoire chaud)

La radiopharmacie est divisée en deux parties distinctes. D'un côté l'enceinte haute énergie dédiée au fluor 18 et de l'autre, une enceinte basse énergie pour la préparation de toutes les autres seringues.

Les résultats des mesures d'ambiance et de la dosimétrie permettent de classer ce local en zone surveillée du point de vue de l'exposition due aux radiopharmaceutiques stockés dans les enceintes blindées. Cependant, aux abords des poubelles plombées, le personnel peut être exposé à des débits de dose entre 7,5 et 10 $\mu\text{Sv/h}$ à 50 cm. Ainsi, le local sera classé en zone contrôlée verte.

Compte tenu de la manipulation de flacons et seringues, et de niveaux d'activité élevés (jusqu'à 20 GBq de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et de l'ordre du GBq de ^{18}F dans ces enceintes), les enceintes blindées seront classées en zone contrôlée jaune.

→ Sas de livraison

Lors de la réception de générateurs de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et de 4 flacons de ^{18}F , les débits d'équivalent de dose sont de l'ordre de 30 $\mu\text{Sv/h}$ dans le local au niveau de la porte. Les colis peuvent rester dans ce local plus d'une heure : on classera cette zone en tant que zone contrôlée jaune, même si d'autres radionucléides sont présents.

Le hall, par lequel les livraisons sont effectuées, est en zone non réglementée ($< 80 \mu\text{Sv}$ par mois).

→ Local d'entreposage des déchets radioactifs

Lors des contrôles d'ambiance, les débits d'équivalent de dose mesurés peuvent dépasser 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ mais sans dépasser 25 $\mu\text{Sv/h}$, compte tenu des protections mises en place pour les sacs et boîtes les plus irradiants. Les fonds de flacons décroissent dans un stockeur blindé dans la radiopharmacie préalablement à leur évacuation.

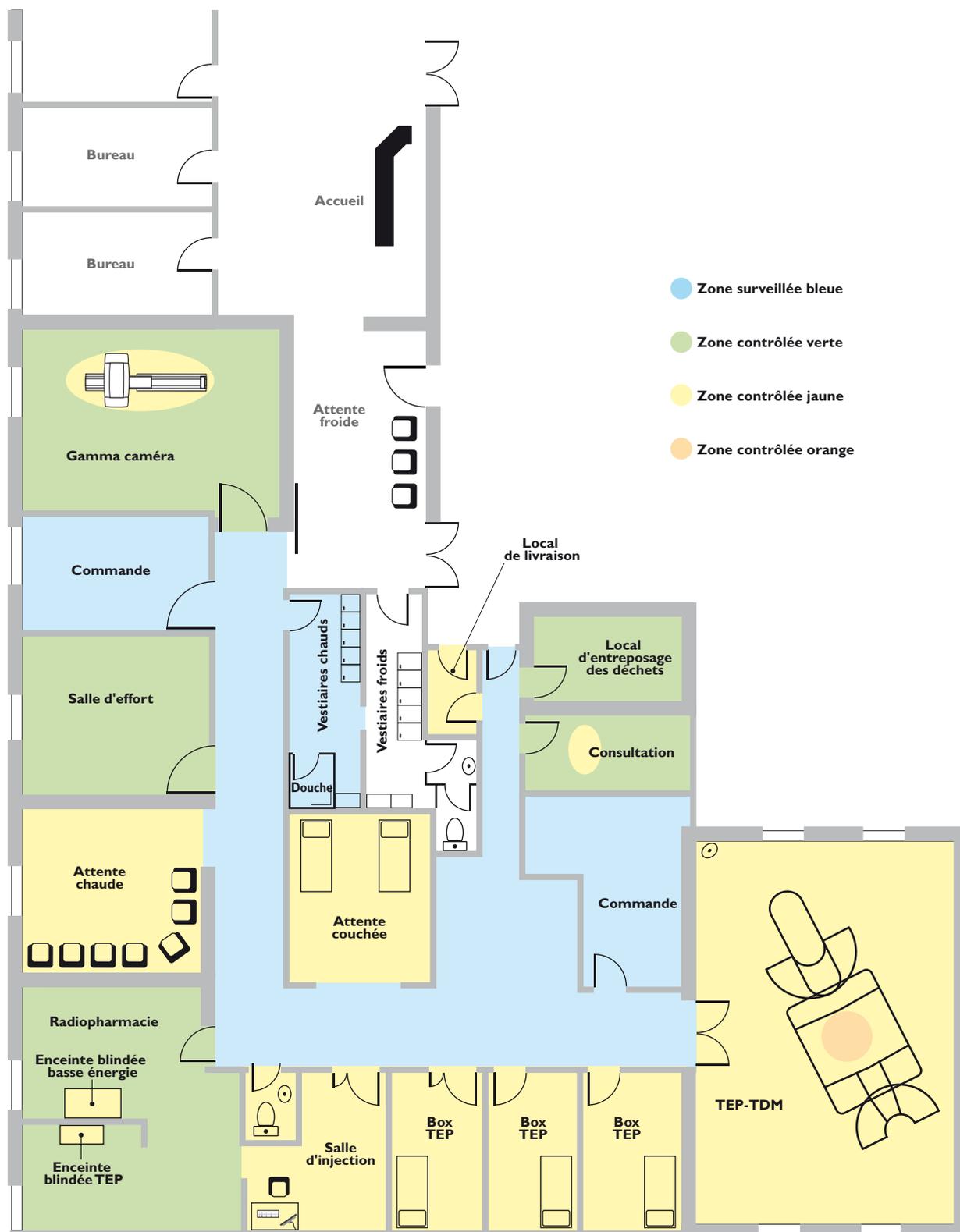
Ainsi le local peut être classé en zone contrôlée verte.

→ Couloir

Les mesures dans le couloir, y compris en regard des boxes TEP et de la salle d'attente chaude, montrent un niveau d'exposition inférieur à 7,5 μSv en une heure. Ainsi, le couloir est classé en zone surveillée.

Classification des travailleurs affectés à la médecine nucléaire

Compte tenu des différentes tâches (préparation des radiopharmaceutiques, injection, réalisation de l'examen...) et des différences d'organisation d'un service à l'autre il est difficile de proposer un exemple de classification. Il est recommandé de se rapporter au classement proposé dans la fiche dédiée à la médecine nucléaire – Diagnostic in vivo avec TEP - en portant une attention particulière à l'exposition des extrémités lors des préparations et des injections.



Proposition de zonage d'un service de médecine nucléaire diagnostique comportant une unité TEP-TDM

ERRATUM

Dans la fiche précédente FR 5 : Médecine nucléaire. Diagnostic in vivo hors TEP, (page 661 du n° 128 de la revue), une erreur s'est glissée dans le tableau « Caractéristiques des principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire en diagnostic in vivo », la période du Krypton 81m est de 13 secondes, et non de 13 minutes. Une version corrigée du document est disponible en pdf sur le site de la revue : www.dmt-prevention.fr