

RAPPORT D'EXPERTISE

# NOUVEAUX RADIONUCLÉIDES EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

QUATRIÈME PARTIE : RADIOPROTECTION DES  
TRAVAILLEURS PRENANT EN CHARGE LES  
PATIENTS DÉCÉDÉS APRES UN ACTE DE MÉDECINE  
NUCLÉAIRE

Pôle Santé-Environnement – Direction de la Santé

Rapport IRSN N° 2023-00026

Rapport établi en support à l'avis IRSN/2023-00004 du 10 janvier 2023

## Déclaration de liens d'intérêt

L'IRSN a vérifié que les personnes impliquées dans la rédaction de ce rapport n'ont pas de lien d'intérêt avec les entreprises produisant ou établissements exploitant des produits en lien avec l'objet de l'expertise, les sociétés de conseil et les organismes professionnels intervenant dans ces secteurs.

Ces personnes mettent à jour régulièrement leurs déclarations publiques d'intérêt qui sont disponibles en ligne sur le site <https://dpi-declaration.sante.gouv.fr>.

# TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX .....	5
RESUME .....	8
INTRODUCTION .....	9
<b>1. CONTEXTE, CONTOUR DE LA SAISINE ET DEROULEMENT DE L'EXPERTISE .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Groupe de travail à l'initiative de l'ASN sur le sujet des dépouilles radioactives humaines.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Travaux précédents de l'IRSN sur la radioprotection des travailleurs en charge des dépouilles radioactives humaines.....</b>	<b>10</b>
1.2.1. Exposition des travailleurs effectuant le transport avant la mise en bière et les soins de conservation .....	10
1.2.2. Exposition des travailleurs des crématoriums et de la population suite aux rejets gazeux .....	10
1.2.3. Synthèse des travaux de l'IRSN sur les soins au corps, le transport avant mise en bière et la crémation : Avis IRSN/2017-000174.....	11
<b>1.3. Contour de la saisine de l'ASN et contenu du présent rapport .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Visites effectuées dans le cadre de l'expertise.....</b>	<b>11</b>
<b>2. ANALYSE DES RECOMMANDATIONS EUROPEENNES ET INTERNATIONALES DE RADIOPROTECTION CONCERNANT LE DECES ET LA CREMATION APRES UN ACTE DE MEDECINE NUCLEAIRE .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Recommandations nationales.....</b>	<b>13</b>
2.1.1. Recueil des recommandations .....	13
2.1.2. Recommandations disponibles.....	13
2.1.3. Synthèse des recommandations .....	14
<b>2.2. Recommandations de la Commission européenne, de la CIPR et de l'AIEA .....</b>	<b>22</b>
2.2.1. Commission européenne : Rapport Radiation protection 97 (1998) .....	22
2.2.2. CIPR : Publication 94 (2004) .....	22
2.2.3. AIEA : Rapport SRS 63 (2009) .....	23
<b>2.3. Résumé et propositions pour la France .....</b>	<b>23</b>
<b>3. RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EFFECTUANT LES SOINS AU CORPS ET LE TRANSPORT AVANT MISE EN BIÈRE .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Prise en charge d'un patient décédé .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Objectifs et contenu du présent chapitre .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Méthode et hypothèses de calcul .....</b>	<b>28</b>
3.3.1. Opérations réalisées.....	28
3.3.2. Radionucléides pris en compte et activités associées.....	29
3.3.3. Constantes de débit d'équivalent de dose des radionucléides.....	30
3.3.4. Périodes effectives des médicaments radiopharmaceutiques .....	30

3.3.5. Méthode de calcul .....	30
<b>3.4. Résultats .....</b>	<b>31</b>
3.4.1. Cas permettant une prise en charge immédiate de la dépouille .....	31
3.4.2. Cas ne permettant pas une prise en charge immédiate de la dépouille.....	32
<b>3.5. Conclusion .....</b>	<b>34</b>
<b>4.          RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS DES CREMATORIUMS.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Radionucléides retenus .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2. Evaluation dosimétrique.....</b>	<b>37</b>
4.2.1. Considérations préliminaires et hypothèses générales .....	37
4.2.2. Description des sources de rayonnement lors de la crémation d’une dépouille radioactive .....	39
4.2.3. Voies d’exposition des différents travailleurs intervenant dans les crématoriums.....	39
<b>4.3. Résultats et recommandations .....</b>	<b>41</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>45</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>46</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>48</b>
<b>SOMMAIRE DES ANNEXES.....</b>	<b>50</b>

## TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

### Figures

Figure 1 : Recommandations recueillies : Recommandations nationales détaillées (en jaune), recommandations générales (en vert), pas de recommandations portées à la connaissance de l'IRSN (en bleu) (les pays en blanc ne sont pas membres d'HERCA) .....	14
Figure 2 : Capture d'écran du calculateur de la période de précaution fourni par l'AFCN .....	17
Figure 3 : Carte de sortie à porter par les patients après la thérapie, telle que proposée par HERCA en 2011 .....	19
Figure 4 : Déroulement chronologique des étapes de la prise en charge d'un patient décédé à l'hôpital .....	27
Figure 5 : Principales étapes du traitement des gaz.....	59

### Tableaux

Tableau 1 : Limites en termes d'activité (en MBq) autorisant la crémation d'un patient après un traitement de médecine nucléaire.....	21
Tableau 2 : Limites en termes de durées (en jours) autorisant la crémation d'un patient après un traitement de médecine nucléaire.....	22
Tableau 3 : Caractéristiques des opérations funéraires retenues.....	29
Tableau 4 : Liste des radionucléides et des activités retenues .....	30
Tableau 5 : Délais d'attente nécessaire pour réaliser d'une part le transport avant la mise en bière et d'autre part les soins au corps, avec l'hypothèse d'un décès immédiat à l'administration.....	32
Tableau 6 : Délai entre l'administration et le décès permettant de réaliser les opérations funéraires immédiatement .....	32
Tableau 7 : Comparaison des délais calculés, entre les nouveaux radionucléides ne permettant pas une prise en charge immédiate de la dépouille et l' <sup>131</sup> I (NaI et MIBG).....	33
Tableau 8 : Recommandations concernant la conduite à tenir pour les soins au corps et le transport avant mise en bière permettant de maintenir l'exposition en dessous du critère de dose de 300 µSv, en fonction des actes thérapeutiques .....	35
Tableau 9 : Liste des radionucléides utilisés en diagnostic retenus pour l'étude et activités administrées.....	36
Tableau 10 : Liste des radionucléides utilisés en thérapie retenus pour l'étude et activités administrées .....	37
Tableau 11 : Répartition des radionucléides en fonction de leur enjeu de radioprotection des travailleurs des crématoriums .....	42
Tableau 12 : Constantes de débit d'équivalent de dose des radionucléides .....	54
Tableau 13 : Période effective des médicaments radiopharmaceutiques retenue .....	55
Tableau 14 : Débit d'équivalent de dose pour l'opérateur prenant en charge (à 0,5 m) la dépouille contenant la totalité de l'activité administrée : cas où les opérations peuvent être réalisées sans délai.....	55
Tableau 15 : Débit d'équivalent de dose pour l'opérateur prenant en charge (à 0,5 m) la dépouille contenant la totalité de l'activité administrée : cas où les opérations funéraires nécessitent un délai avant d'être réalisées.....	56

Tableau 16 : Durée minimale nécessaire pour réaliser les opérations funéraires en cas de décès immédiatement après administration des radionucléides.....	56
Tableau 17 : Durée minimale entre l’administration du MRP et le décès permettant la réalisation des opérations funéraires sans délai après le décès .....	57
Tableau 18 : Exposition de l'opérateur en charge de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 1 jour après le décès.....	62
Tableau 19 : Exposition de l'opérateur en charge de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 6 jours après le décès .....	62
Tableau 20: Exposition des autres salariés du crématorium lors de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 1 jour après le décès .....	62
Tableau 21: Exposition des autres salariés du crématorium lors de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 6 jour après le décès .....	62
Tableau 22 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) .....	64
Tableau 23 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) .....	65
Tableau 24 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) .....	66
Tableau 25 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) .....	67
Tableau 26 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	68
Tableau 27 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	69
Tableau 28 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	70
Tableau 29 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	71
Tableau 30 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès .....	73
Tableau 31 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès .....	74
Tableau 32 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès .....	75
Tableau 33 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès .....	76
Tableau 34 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	77
Tableau 35 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	78

Tableau 36 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	79
Tableau 37 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	80
Tableau 38 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	81
Tableau 39 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	82
Tableau 40 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	83
Tableau 41 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès.....	84

## RESUME

La médecine nucléaire connaît, depuis quelques années, une forte évolution dans le monde, tant dans ses applications diagnostiques que thérapeutiques. En particulier, l'arrivée sur le marché du  $^{177}\text{Lu}$  - PSMA - 617 pour traiter certains cancers de la prostate pourrait conduire à un plus large recours à la radiothérapie interne vectorisée (RIV) et à ouvrir la voie à d'autres médicaments radiopharmaceutiques (MRP).

Dans ce contexte, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) pour réaliser une expertise concernant l'utilisation de nouveaux radionucléides en médecine nucléaire pour des actes à visée diagnostique, théranostique ou thérapeutique, afin d'anticiper au mieux l'impact de ces possibles évolutions en termes de radioprotection. Cette demande a été transmise via une lettre de saisine en avril 2021. L'IRSN a pour partie répondu à cette saisine par trois rapports.

Le rapport de l'IRSN n°2021-00083 [1], daté du 1<sup>er</sup> février 2021, a concerné les perspectives d'application en médecine nucléaire des radionucléides prometteurs identifiés par l'IRSN dans le cadre de cette première étude.

Le rapport de l'IRSN n°2021-00484 [2], daté du 30 juin 2021 traitait des mesures de radioprotection des patients dans le contexte d'une utilisation thérapeutique (planification individuelle du traitement), et de leur entourage

Le rapport de l'IRSN n°2021-00753 [3], daté du 29 octobre 2021, a abordé les problématiques de radioprotection des travailleurs à l'hôpital en charge des patients en médecine nucléaire, des transporteurs sanitaires des patients après administration d'un MRP, et des travailleurs dans les systèmes d'assainissement potentiellement exposés aux effluents radioactifs.

Le présent rapport achève les travaux d'expertise demandés par l'ASN dans le cadre de la saisine précitée. Dans la continuité des 3 rapports précédents, ce rapport aborde les problématiques de radioprotection lorsqu'un décès de patient survient peu de temps après un acte de médecine nucléaire. Il aborde la question de la radioprotection du personnel funéraire dans le cadre des opérations de transport avant la mise en bière et de soins au corps, et des personnels des crématoriums.

Des estimations des doses à ces personnels ont été réalisées et des recommandations formulées au sujet de la conduite à tenir vis-à-vis de la prise en charge du corps en fonction des radionucléides et des recommandations pratiques sont formulées dans ce cadre.

A partir de l'analyse des recommandations de radioprotection suite à un décès de patient de médecine nucléaire, émanant de plusieurs pays d'Europe membres d'HERCA, des Etats-Unis, du Canada, de la Commission Européenne et des instances internationales (Commission internationale de protection radiologique, Agence internationale de l'énergie atomique), l'IRSN propose plusieurs recommandations qui pourraient être appliquées en France, notamment un calculateur du délai d'attente après le décès pour prendre en charge le corps et de la durée minimale entre administration et décès permettant de prendre en charge le corps immédiatement après le décès, une carte de sortie que le patient doit garder sur lui après sa sortie de l'hôpital et des fiches réflexes pour le personnel funéraire .

Au vu des doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs funéraires effectuant le transport avant la mise en bière et les soins au corps, pour quatre nouveaux radionucléides prometteurs considérés, le  $^{223}\text{Ra}$  et l' $^{225}\text{Ac}$  ne requièrent aucune disposition particulière de radioprotection tandis que le  $^{177}\text{Lu}$  et  $^{166}\text{Ho}$  conduisent à différer de quelques jours la prise en charge du corps, avec un maximum de 5 jours pour le  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE pour les soins au corps. Ces délais n'excèdent toutefois pas les délais règlementaires de prise en charge.

Concernant les travailleurs des crématoriums, seul un nombre réduit d'opérations pour certains radionucléides (et uniquement à visée thérapeutique) peuvent conduire à des doses supérieures à 300  $\mu\text{Sv}$  par crémation. La rareté de ces configurations ajoutée aux hypothèses très conservatives utilisées dans les calculs conduisent à une probabilité très faible de dépassement de cette valeur. De plus, le suivi par le crématorium des recommandations de l'IRSN émises dans l'étude (notamment concernant le système de filtration) permettrait de réduire drastiquement la dose reçue.

## INTRODUCTION

La médecine nucléaire connaît depuis quelques années une forte évolution dans le monde, tant dans ses applications diagnostiques que thérapeutiques. En particulier, l'arrivée sur le marché du  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617 pour traiter certains cancers de la prostate, comme annoncé par un communiqué de presse de l'ASCO [4] (American Society of Clinical Oncology) en juin 2021 et l'autorisation temporaire d'utilisation<sup>1</sup> qui a suivie, va probablement conduire à un plus large recours à la radiothérapie interne vectorisée (RIV) et ouvrir la voie à d'autres médicaments radiopharmaceutiques (MRP).

Dans ce contexte, en avril 2020, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé [5] à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) d'établir un rapport d'expertise concernant l'utilisation de nouveaux radionucléides en médecine nucléaire pour des actes à visée diagnostique, théranostique ou thérapeutique, afin d'anticiper au mieux l'impact de ces possibles évolutions en termes de radioprotection. L'IRSN a pour partie répondu à cette saisine par trois rapports.

Le rapport de l'IRSN n°2021-00083 [1], daté du 1<sup>er</sup> février 2021, a permis de répondre aux deux premiers alinéas de la saisine de l'ASN :

- réaliser une étude approfondie de la littérature concernant les radionucléides prometteurs pour une utilisation chez l'Homme, rassemblant leurs différents vecteurs possibles et les données biologiques pertinentes pour des questions de radioprotection (biocinétique) selon les applications diagnostiques ou thérapeutiques ;
- indiquer les perspectives d'application en médecine nucléaire.

Le rapport de l'IRSN n°2021-00484 [2], daté du 30 juin 2021, a permis de répondre au troisième alinéa de la saisine de l'ASN qui concerne les mesures de radioprotection des patients dans le contexte d'une utilisation thérapeutique (planification individuelle du traitement), et de leur entourage.

Le rapport de l'IRSN n°2021-00753 [3], daté du 29 octobre 2021, a permis de répondre à plusieurs sujets du quatrième alinéa de la saisine de l'ASN, à savoir la radioprotection :

- des travailleurs à l'hôpital qui manipulent les radionucléides et prennent en charge les patients ;
- des transporteurs sanitaires des patients après administration d'un MRP. Ce sujet a été traité comme demandé par l'ASN lors d'échanges en cours d'expertise ;
- des travailleurs dans les systèmes d'assainissement potentiellement exposés aux effluents radioactifs.

Le présent rapport traite de l'ultime sujet de la saisine de l'ASN d'avril 2020, mentionné au quatrième alinéa, à savoir la radioprotection des travailleurs qui prennent en charge les patients décédés après un acte de médecine nucléaire (dépouilles radioactives).

---

<sup>1</sup> <https://ansm.sante.fr/tableau-acces-derogatoire/177lu-lu-psma-617-solution-injectable-pour-perfusion#>

et [https://www.has-sante.fr/jcms/p\\_3358995/fr/-177lu-lu-psma-617-cancer-de-la-prostate](https://www.has-sante.fr/jcms/p_3358995/fr/-177lu-lu-psma-617-cancer-de-la-prostate)

# 1. CONTEXTE, CONTOUR DE LA SAISINE ET DEROULEMENT DE L'EXPERTISE

## 1.1. Groupe de travail à l'initiative de l'ASN sur le sujet des dépouilles radioactives humaines

En 2008, un groupe de travail (GT) à l'initiative de l'ASN a été constitué. Piloté par l'ASN, il s'intitulait « Conduite à tenir devant des dépouilles humaines comportant de la radioactivité en sources scellées ou non scellées » (dit « GT dépouilles »). Ce GT regroupait plusieurs parties prenantes<sup>2</sup>, dont l'IRSN, et concernait les cas de décès après un acte de médecine nucléaire (sources non scellées) mais également après une curiethérapie par implants permanents (sources scellées). Les conclusions de ce GT ont fait l'objet, en décembre 2018, d'un courrier d'instruction [6] de l'ASN/DIS (division des rayonnements ionisants et de la santé) à l'intention des chefs des divisions territoriales de l'ASN<sup>3</sup>. Ce courrier a également été transmis en parallèle à la Société française de médecine nucléaire (SFMN).

## 1.2. Travaux précédents de l'IRSN sur la radioprotection des travailleurs en charge des dépouilles radioactives humaines

### 1.2.1. Exposition des travailleurs effectuant le transport avant la mise en bière et les soins de conservation

L'IRSN, dans le cadre du « GT dépouilles » de l'ASN, a réalisé un travail sur le thème de la radioprotection des travailleurs effectuant le transport du corps avant la mise en bière et les soins au corps (incluant la toilette, l'habillage et la thanatopraxie) dans le cadre de la prise en charge d'un patient décédé après un acte de médecine nucléaire thérapeutique ou de curiethérapie par implants permanents. Ce travail a conduit, en 2016, à l'élaboration d'un rapport à destination de l'ASN (rapport PRP-HOM/ n°2016-00008 [7]).

Dans le rapport précité, des calculs de radioprotection ont été réalisés en vue d'estimer, de manière raisonnablement pénalisante, la dose susceptible d'être reçue par les travailleurs pour le transport avant mise en bière et les soins au corps.

Une comparaison avec un critère de dose adapté a été effectuée afin d'émettre des recommandations quant à la possibilité de prendre en charge le corps (prise en charge immédiate ou non). Ces recommandations ont été formulées pour chacun des types de traitements faisant appel aux différents radionucléides.

Le présent rapport complète le rapport précité pour les radionucléides apparus depuis 2016 en médecine nucléaire uniquement (curiethérapie par implants permanents exclue) et identifiés précédemment comme prometteurs par l'IRSN (cf. rapport IRSN n°2021-00083 [1]).

### 1.2.2. Exposition des travailleurs des crématoriums et de la population suite aux rejets gazeux

L'IRSN, dans le cadre du « GT dépouilles » de l'ASN, a réalisé également un travail pour estimer la dose susceptible d'être reçue par le personnel des crématoriums et par la population suite aux rejets gazeux des crématoriums, dans le cadre de la prise en charge d'un patient décédé après un acte de médecine nucléaire diagnostique, thérapeutique ou de curiethérapie par implants permanents. Ce travail a conduit, en 2016, à l'élaboration d'un rapport à destination de l'ASN (rapport PRP-HOM/ n°2016-0007 [8]).

<sup>2</sup> ASN, IRSN, Confédération des professionnels du funéraire et de la marbrerie (CPFM), OGF (opérateur funéraire en France), Direction générale de la santé (DGS), Ministère de la Santé, Ministère de l'intérieur, Institut médico-légal de Paris (IML), Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)

<sup>3</sup> Ce courrier demandait aux divisions de l'ASN de transmettre les recommandations auprès des services de médecine nucléaire autorisés à réaliser des traitements par <sup>131</sup>I-MIBG et <sup>111</sup>In-pentétréotide (cas les moins favorables du point de vue de la radioprotection lors de la manipulation du corps) afin qu'ils en tiennent compte dans l'information délivrée au patient ou à ses proches (avant et après l'acte)

Ces estimations ont été réalisées dans plusieurs cas de figure et plusieurs scénarios, par exemple, pour les cas où le crématorium dispose ou ne dispose pas d'une installation de traitement des fumées. A l'époque, l'IRSN avait effectué la visite de deux crématoriums (Reims et Evry en 2013<sup>4</sup>).

Le présent rapport complète le rapport précité pour ce qui concerne la radioprotection des travailleurs des crématoriums prenant en charge une personne décédée à la suite d'un traitement par RIV, en prenant en compte les nouvelles dispositions réglementaires et de nouveaux radionucléides. En effet, depuis 2018, l'installation de traitement des fumées dans les crématoriums a été rendue obligatoire par l'arrêté du 28 janvier 2010, relatif à la hauteur de la cheminée des crématoriums et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère. Tous les crématoriums sont désormais équipés de ces installations de traitement des fumées.

### **1.2.3. Synthèse des travaux de l'IRSN sur les soins au corps, le transport avant mise en bière et la crémation : Avis IRSN/2017-000174**

En 2017, l'ASN a demandé<sup>5</sup> à l'IRSN un avis reprenant les conclusions que l'IRSN tirait des études menées sur l'exposition des personnes réalisant les soins au corps et le transport des dépouilles après un traitement de médecine nucléaire ou de curiethérapie par implants permanents ainsi que sur l'exposition du personnel des crématoriums et de la population suite aux rejets gazeux lors des crémations. Cet avis IRSN/2017-000174 [9] a été rendu à l'ASN le 24 mai 2017.

## **1.3. Contour de la saisine de l'ASN et contenu du présent rapport**

Les rapports PRP-HOM/ n°2016-0007 [8] et PRP-HOM/ n°2016-00008 [7] concernaient le cas des dépouilles radioactives après l'administration d'un radionucléide en médecine nucléaire ou l'implantation de sources scellées de manière permanente en curiethérapie. Conformément à la saisine de l'ASN, le présent rapport concerne uniquement le domaine de la médecine nucléaire et n'inclut pas la curiethérapie. Par conséquent, la curiethérapie Alpha DaRT par sources de Radium 224 (cf. rapport IRSN 2021-00083) n'est pas non plus incluse dans le présent rapport.

De plus, conformément à la demande de l'ASN, le présent rapport concerne uniquement la radioprotection des travailleurs. Ainsi, les données du rapport PRP-HOM/ n°2016-0007 [8] relatives à la radioprotection de la population suite aux rejets gazeux des crématoriums, c'est-à-dire du fait des fumées rejetées dans l'environnement, n'ont pas été considérées dans le présent rapport.

Enfin, le cas de l'autopsie n'est pas traité dans le présent rapport. En effet, ce cas n'a pas fait l'objet d'une attention particulière par le « GT dépouilles » et il n'a donc pas été traité dans le rapport PRP-HOM n°2016-00008 [7]. A cet égard, d'après les informations obtenues lors de la visite d'un centre de lutte contre le cancer (CLCC) (cf. paragraphe 1.4 ci-après), dans le cas général d'un décès (non nécessairement un patient traité en médecine nucléaire), l'autopsie n'est demandée que dans de rares cas. Le cas d'un décès d'un patient peu de temps après un traitement de médecine nucléaire étant également rare, le cas d'une autopsie d'un patient de médecine nucléaire est donc d'autant plus rare. Il fait l'objet d'un traitement au cas par cas par l'établissement de santé concerné le cas échéant.

## **1.4. Visites effectuées dans le cadre de l'expertise**

Dans le cadre de l'expertise demandée, l'IRSN a effectué trois visites.

- La première visite s'est déroulée dans un centre hospitalier universitaire (CHU), plus particulièrement dans le service de médecine nucléaire de ce CHU qui a été confronté au cas de

<sup>4</sup> Deux visites de crématorium ont été effectuées, le crématorium de Reims disposant d'un système de traitement des fumées, à la différence de celui d'Evry, afin de réaliser les estimations de dose dans ces deux cas.

<sup>5</sup> Lettre CODEP-DIS-2017-014881 du 13 avril 2017

décès d'un patient traité au  $^{177}\text{Lu}$ . L'IRSN s'est rendu sur place afin d'échanger avec l'équipe pour bien comprendre la situation et sa gestion du point de vue de la radioprotection.

- La deuxième visite a eu lieu dans un CLCC, plus particulièrement dans le service de radioprotection et le service prenant en charge les patients décédés (discussions avec les agents de chambre mortuaire et leur responsable). Une visite du circuit complet de la prise en charge d'un patient décédé à l'hôpital a été réalisée, depuis la chambre d'hospitalisation, en passant par la chambre mortuaire de l'hôpital jusqu'au départ du corbillard pour inhumation ou crémation. Cette visite a été l'occasion de discuter d'un décès survenu dans le CLCC la nuit ayant suivi l'administration de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  pour un examen d'embolie pulmonaire.

Ces deux visites ont permis de préciser la compréhension du déroulement global de la prise en charge d'un patient décédé, depuis le décès jusqu'aux funérailles (inhumation ou crémation), et par conséquent le personnel susceptible d'être exposé si le corps du défunt est radioactif.

- Une troisième visite s'est déroulée au crématorium de Montfermeil. L'ensemble des locaux (parties publique et technique) a été visité afin de comprendre le déroulement complet de la prise en charge du défunt dans un crématorium. L'objectif était également d'échanger avec le personnel en charge de la maintenance du crématorium, notamment concernant le retrait des réactifs usagés issus de la filtration des fumées.

En plus des visites précitées, l'IRSN a contacté un autre CHU qui a été confronté à deux cas de décès en médecine nucléaire ( $^{131}\text{I}$  et  $^{177}\text{Lu}$ ) afin d'échanger sur la gestion de ces situations du point de vue de la radioprotection.

## 2. ANALYSE DES RECOMMANDATIONS EUROPEENNES ET INTERNATIONALES DE RADIOPROTECTION CONCERNANT LE DECES ET LA CREMATION APRES UN ACTE DE MEDECINE NUCLEAIRE

Dans ce chapitre sont présentées des recommandations liées à la radioprotection en cas de décès d'un patient ayant bénéficié d'un acte de médecine nucléaire : les recommandations nationales recueillies principalement via le réseau HERCA (Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities), puis les recommandations émanant de la Commission européenne, de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA).

### 2.1. Recommandations nationales

#### 2.1.1. Recueil des recommandations

Le groupe de travail Applications Médicales (Working Group Medical Applications, WGMA) du réseau européen des autorités compétentes en radioprotection HERCA travaille actuellement sur la thématique de la médecine nucléaire (Work Package Nuclear Medicine, WP NM). Dans ce cadre, une enquête a été réalisée début 2020 auprès des autorités compétentes membres de ce groupe de travail. Une partie de cette enquête consistait à savoir s'il existait des recommandations nationales concernant deux sujets d'intérêt<sup>6</sup> :

- les recommandations en cas de décès d'un patient peu de temps après un acte de médecine nucléaire thérapeutique ;
- les recommandations concernant la crémation d'un patient décédé après un acte de médecine nucléaire.

Dans un second temps, les recommandations issues de l'enquête ont été transmises, en 2021 et 2022, à l'IRSN pour en effectuer l'analyse. En effet, l'IRSN a proposé de réaliser ce travail, en accord avec l'ASN, car cette thématique entre dans le champ de la saisine de l'ASN objet du présent rapport. Pour compléter au-delà de l'Europe, l'IRSN a recueilli également les recommandations des Etats-Unis et du Canada. Ce chapitre présente donc l'analyse des recommandations recueillies.

#### 2.1.2. Recommandations disponibles

L'analyse des recommandations nationales, pour 12 pays, en cas de décès d'un patient rapidement après un acte thérapeutique de médecine nucléaire ou pour la crémation après un acte de médecine nucléaire a fait ressortir deux catégories de pays :

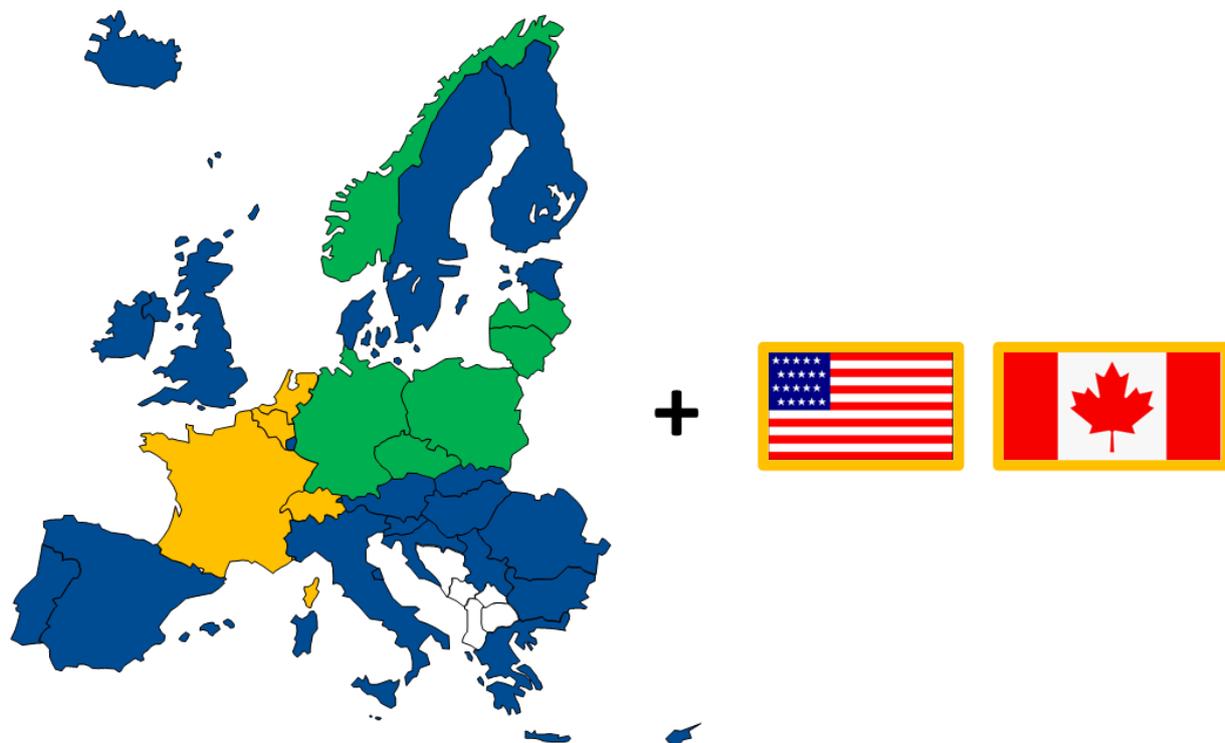
- les pays pour lesquels il existe quelques recommandations générales (6/12) : République Tchèque, Allemagne, Lituanie, Lettonie, Norvège, Pologne ;
- ceux pour lesquels il existe des recommandations nationales détaillées (6/12) : Belgique, France, Suisse, Pays-Bas, Etats-Unis, Canada.

La figure 1 ci-après présente le détail des types de recommandations par pays. Les références des recommandations sont présentées en annexe 1 au présent rapport.

D'une manière générale, le contenu des recommandations en cas de décès d'un patient sont assez hétérogènes d'un pays à l'autre. Il est néanmoins possible de comparer certaines recommandations sur des sujets particuliers.

---

<sup>6</sup> Cette enquête a permis de recueillir également les consignes de radioprotection fournies aux patients après une RIV. Les informations sur ce sujet ont été présentées dans le chapitre 3.1 du rapport IRSN n°2021-00484, deuxième volet de réponse à la saisine demandée par l'ASN sur les nouveaux radionucléides en médecine nucléaire (CODEP-DIS-013841, 21 avril 2020).



**Figure 1 : Recommandations recueillies : Recommandations nationales détaillées (en jaune), recommandations générales (en vert), pas de recommandations portées à la connaissance de l'IRSN (en bleu) (les pays en blanc ne sont pas membres d'HERCA)**

Il convient de noter que, selon les pays, le contenu des documents recueillis est très hétérogène en termes de longueur et de détails. La majorité des documents recueillis n'étaient pas rédigés en français ou en anglais à l'origine, ils ont donc été traduits en anglais ou en français en utilisant des outils de traduction automatique. Malgré les précautions prises, pour certains pays, certains passages traduits ont été difficiles à comprendre et quelques erreurs d'interprétation peuvent encore être présentes. Une relecture des différents membres d'HERCA ayant répondu à l'enquête a été effectuée afin d'éliminer un maximum d'erreurs. De plus, les pays n'ont pas systématiquement fourni des données sur tous les sujets demandés dans le cadre de l'enquête menée par HERCA (recommandations de radioprotection en médecine nucléaire sur 3 sujets : les consignes de radioprotection données au patient en RIV, le cas de décès d'un patient et la crémation).

### 2.1.3. Synthèse des recommandations

#### 2.1.3.1. Lieu de survenue du décès et implications

Le décès d'un patient peut avoir lieu lorsque le patient est en traitement de médecine nucléaire dans un établissement de santé ou après que le patient soit sorti de cet établissement.

Dans le premier cas, le décès a lieu rapidement après le traitement, l'activité résiduelle dans le corps est donc susceptible d'être élevée, ce qui peut entraîner un risque d'exposition externe élevé pour certains radionucléides. Dans ce cas, la situation est susceptible d'être gérée au niveau du service de médecine nucléaire

par l'expert en radioprotection (au sens de la directive 2013/59/EURATOM<sup>7</sup>) de l'établissement, en collaboration avec le médecin responsable du traitement.

Dans le deuxième cas, le décès a lieu plus tardivement, l'activité résiduelle est donc plus faible et les problématiques de radioprotection sont potentiellement moindres. Si l'activité présente dans la dépouille nécessite des dispositions de radioprotection particulières, il faut que les proches informent les personnes qui vont prendre en charge la dépouille de son caractère radioactif, afin que l'exposition des intervenants soit maîtrisée.

### **2.1.3.2. Modes d'exposition et travailleurs susceptibles d'être exposés**

Comme vu précédemment, lorsqu'un patient décède rapidement après un traitement de médecine nucléaire, des problématiques de radioprotection peuvent se poser. Les travailleurs susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants dont la radioprotection doit être assurée sont les suivants :

- si le décès survient dans un établissement de santé, le personnel de cet établissement (établissement où le patient a reçu son traitement ou autre établissement de santé) ; si le décès survient dans un établissement médico-social, le personnel de cet établissement ;
- le personnel assurant le transport du corps et l'inhumation (pompes funèbres) ;
- si nécessaire, le personnel d'autopsie et d'embaumement (soins au corps, incluant la thanatopraxie) ;
- le personnel des crématoriums lors du déplacement du corps, de la crémation, de la manipulation des cendres contaminées et des produits issus de la filtration des fumées de crémation (réactifs usagés) ;
- si nécessaire, le personnel réalisant l'aquamation (ou hydrolyse alcaline) dans les pays où cette pratique est autorisée (Canada et dans 15 états aux USA).

Après un décès, le corps du patient est une source radioactive émettant des rayonnements ionisants et est susceptible d'exposer les personnes, du fait du caractère non scellé des sources administrées au patient. Les personnes, en fonction des actes réalisés vis-à-vis du corps, peuvent donc être exposées via plusieurs modes :

- l'exposition externe ;
- la contamination externe ;
- l'exposition interne par inhalation ou ingestion.

### **2.1.3.3. Critères impliquant l'application de mesures de radioprotection**

Lorsqu'un patient décède peu de temps après un traitement en médecine nucléaire, des précautions de radioprotection ne sont pas toujours nécessaires au niveau de l'hôpital, des pompes funèbres et du crématorium. En effet, l'exposition des travailleurs dépend d'un certain nombre de facteurs comme par exemple :

- le radionucléide administré et en particulier ses propriétés physiques (période, émissions) ;
- l'activité résiduelle dans la dépouille. Celle-ci est liée au délai entre l'administration et le décès et dépend de l'excrétion biologique du patient avant son décès ;
- le débit de dose à une certaine distance de la dépouille (en lien avec l'activité résiduelle et les propriétés physique du radionucléide administré).

Les critères impliquant l'application de mesures de radioprotection lors de la survenue d'un décès varient beaucoup d'un pays à l'autre.

**Certains pays mentionnent une période temporelle** (en jours, mois ou années) pendant laquelle des précautions particulières de radioprotection doivent être prises. Cette période est telle qu'après ce délai, aucune précaution

<sup>7</sup> une personne ou, lorsque la législation nationale prévoit cette possibilité, un groupe de personnes possédant les connaissances, la formation et l'expérience requises pour prodiguer des conseils en matière de radioprotection afin d'assurer une protection efficace des personnes, et dont la compétence en la matière est reconnue par l'autorité compétente

de radioprotection n'est nécessaire vis-à-vis de la manipulation de la dépouille. **C'est le cas par exemple en Belgique.** En effet, pour chaque médicament radiopharmaceutique (ou dispositif médical implantable actif (DMIA)) il est possible d'obtenir, via un fichier Excel disponible en ligne sur le site de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN)<sup>8</sup>, la durée de cette période de précaution après avoir renseigné l'activité administrée (cf. figure 2 ci-après). Il est ainsi possible de calculer la fin de la période de précaution pour n'importe quelle activité administrée d'un produit radioactif déterminé. Si un patient décède au cours de cette période de précaution, des mesures de protection et des précautions doivent être prises pour les personnes manipulant le corps (personnel hospitalier et personnel des pompes funèbres) ainsi que pour le personnel du crématorium, les proches, la population et l'environnement. Concernant les nouveaux radionucléides, tels que ceux présents dans le tableau de l'avis IRSN n°2021-00016 [10], ce fichier permet de calculer la durée des périodes de précaution pour le Xofigo (<sup>223</sup>Ra), les microsphères de <sup>166</sup>Ho, le <sup>177</sup>Lu-DOTATATE et le <sup>177</sup>Lu-PSMA.

Plusieurs paramètres sont pris en compte dans ce calculateur, en fonction du traitement sélectionné :

- la période physique du radionucléide,
- la période biologique, qui est fixée arbitrairement à 10 000 jours (absence de décroissance biologique) pour quelques traitements, par exemple pour ceux considérés comme n'étant pas éliminés biologiquement (microsphères pour la radiothérapie interne sélective par exemple),
- un taux d'excrétion rapide, en pourcentage, qui est choisi à 0% pour certains traitements (microsphères par exemple),
- un seuil d'activité en dessous duquel aucune précaution de radioprotection n'est nécessaire pour la manipulation du corps, en particulier l'acte de crémation. Les seuils choisis sont les seuils d'exemption en activité (en Bq) mentionnés de la directive 2013/59/EURATOM, 3<sup>ème</sup> colonne du tableau B de l'annexe VII.

En termes de nouveaux radionucléides :

- seule la période physique est prise en compte pour l'<sup>166</sup>Ho et le <sup>223</sup>Ra ;
- concernant le <sup>177</sup>Lu : pour le DOTATATE, sont considérés une demi-vie effective de 4,17 jours et un taux d'excrétion<sup>9</sup> de 65% ; pour le PSMA, sont considérés une demi-vie effective de 3,54 jours et un taux d'excrétion de 70%.

Pour plus d'informations concernant les paramètres pour chaque traitement, il convient de se référer à la rubrique dédiée du site de l'AFCN : <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/professions-medicales/medecine-nucleaire/initiatives-de-lafcn/dépouilles-radioactives>

A titre d'exemple, pour 7,4 GBq d'activité administrée en <sup>177</sup>Lu, la période de précaution est de 33 jours pour le DOTATATE et 28 jours pour le PSMA. Pour le Xofigo-<sup>223</sup>Ra, la période de précaution est de 59 jours pour une activité administrée typique de 3,6 MBq.

Il convient de noter qu'en Belgique, un nouveau règlement technique, est actuellement en cours de rédaction (sortie prévue en 2023). Il décrira les mesures à prendre pour les manipulations pendant la période de précaution (transport, toilette mortuaire, mise en bière, autopsie, crémation).

<sup>8</sup> [https://fanc.fgov.be/language\\_selection/system/files/20200818-calculator-dynamic.xlsx](https://fanc.fgov.be/language_selection/system/files/20200818-calculator-dynamic.xlsx)

<sup>9</sup> Pour le calcul, il est considéré que l'excrétion a lieu instantanément (i.e. au moment de l'administration), la décroissance s'applique ensuite à l'activité restante

Période de précaution	
Produit radioactif :	<input type="text"/>
Activité administrée :	<input type="text"/> <small>Produit radiopharmaceutique Choisir dans la liste</small>
Date d'administration :	<input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Période de précaution :	<input type="text"/>
Date de fin :	<input type="text"/>

- [I-131] - Nal
- [I-125] - Implants
- [Sm-153] - Quadramet®
- [Ra-223] - Xofigo®
- [Y-90] - Microspheres
- [Ho-166] - Microspheres
- [Y-90] - Colloid
- [I-131] - MIBG

Version 17/08/2020

**Figure 2 : Capture d'écran du calculateur de la période de précaution fourni par l'AFCN**

**Au Pays-Bas**, une fiche à destination des pompes funèbres comporte des recommandations au sujet de l'inhumation, la crémation et la dispersion des cendres. Celle-ci mentionne les durées à respecter pour chaque radionucléide thérapeutique (à savoir,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{166}\text{Ho}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ , et  $^{227}\text{Th}$ ), pour pouvoir réaliser une crémation d'une part, pour la dispersion des cendres d'autre part. La dispersion des cendres est autorisée en fonction de la durée après la crémation et du lieu de dispersion (dans l'eau ou au sol). Si les durées ne peuvent pas être respectées, le corps doit être inhumé.

**Au Canada**, pour chacun des radionucléides utilisés en médecine nucléaire thérapeutique, deux périodes de précautions sont indiquées<sup>10</sup> : une période pour l'embaumement et une autre, plus longue, pour l'autopsie, la crémation et l'aquamation. Par exemple, pour les radionucléides  $^{177}\text{Lu}$  et  $^{223}\text{Ra}$ , la période de précaution pour l'embaumement est de 2 semaines, tandis que la deuxième période (autopsie, crémation, aquamation) est de trois mois.

**Certains pays mentionnent des limites en débit de dose** à une certaine distance de la dépouille. **C'est le cas par exemple en France.** En effet, pour l'utilisation du  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE dans les tumeurs neuroendocrines (TNE) digestives, l'embaumement, le transport du corps et l'inhumation peuvent être réalisés dès lors que le débit de dose à 50 cm du corps est inférieur à un seuil de 150  $\mu\text{Sv/h}$  (cela correspond à un critère de dose<sup>11</sup> de 300  $\mu\text{Sv}$  reçu par un travailleur pendant une période maximale de 2h à proximité du corps). Dans le cas contraire, il sera possible d'attendre, pour la prise en charge du corps, un délai supérieur à la durée limite légale française de 6 jours<sup>12</sup> pour l'inhumation/crémation, afin que le débit de dose soit inférieur au seuil [6].

**Certains pays utilisent un critère d'activité résiduelle** dans la dépouille. **C'est le cas par exemple en Suisse.** En effet, l'inhumation est autorisée lorsque l'activité résiduelle est inférieure à 10 000 fois la limite d'autorisation (LA)<sup>13</sup>. La crémation, quant-à-elle, est possible lorsque l'activité résiduelle est inférieure à 1 000 LA. Ces limites d'autorisation sont définies réglementairement pour chaque radionucléide. Si ce critère n'est pas rempli, il est possible de réduire l'activité résiduelle par résection des organes contenant des radionucléides ou par un stockage du corps pour décroissance radioactive.

<sup>10</sup> REGDOC-2.7.3 « Lignes directrices sur la radioprotection pour la manipulation sécuritaire des dépouilles », tableau 2 : <https://nuclearsafety.gc.ca/fra/acts-and-regulations/regulatory-documents/published/html/regdoc2-7-3/index.cfm#sec3-4>

<sup>11</sup> Il ne s'agit pas d'une limite réglementaire.

<sup>12</sup> Articles R.2213-33 et R.2213-35 du code général des collectivités territoriales

<sup>13</sup> Annexe 3 de l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP) du 26 avril 2017 : <https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2017/502/20220101/fr/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2017-502-20220101-fr-pdf-a-4.pdf>

En Pologne, à l'exception de certains cas justifiés, une autopsie peut être réalisée uniquement lorsque l'activité totale résiduelle dans la dépouille est inférieure à 1 GBq. Si possible, il est recommandé de retirer les organes radioactifs de la dépouille<sup>14</sup>.

Le cas de la Belgique a été mentionné ci-avant dans le cadre du critère de période de précaution. Cependant, il est aussi possible de le classer dans la catégorie des pays avec une limite d'activité résiduelle. En effet, comme expliqué ci-avant, cette période de précaution est obtenue à partir d'un calcul tel que la fin de cette période correspondent à une activité résiduelle égale à la limite d'exemption en termes d'activité (Bq) mentionnée dans la directive 2013/59/EURATOM.

La résection des organes les plus radioactifs afin de réduire l'exposition aux rayonnements ionisants provenant de la dépouille est mentionnée en Pologne, Allemagne, Suisse et aux Etats-Unis.

#### **2.1.3.4. Identification du corps radioactif**

La majorité des pays ayant fourni des éléments recommande que le corps soit clairement identifié comme radioactif. En Belgique, dans le cas où le corps est stocké à la morgue de l'hôpital, la porte de la cellule doit comporter le symbole radioactif. En Lituanie et Pologne, il faut apposer un symbole sur le corps du patient à un endroit clairement visible. En Suisse, dans les instituts de pathologie et de médecine légale, la pièce servant à conserver le corps doit porter des indications concernant les radionucléides et l'activité. En Lettonie, la housse contenant le corps doit comporter un symbole radioactif et porter mention du radionucléide, de l'activité et de la date et heure de l'activité. Aux Etats-Unis, un système d'identification doit être attaché au corps (par exemple, un bracelet) et contenir les informations pertinentes.

#### **2.1.3.5. Carte ou document de sortie**

Dans certains pays, lorsque le patient quitte l'établissement de santé après son traitement de RIV, il peut lui être donné une « carte de sortie » au format portefeuille (ou simplement une lettre ou un formulaire de sortie) que le patient est invité à porter sur lui à tout moment (pour une période donnée). Le but de cette carte est d'informer les autres personnes de la présence de radioactivité dans le corps à la suite de son traitement. Cette carte peut être utile, entre autres<sup>15</sup>, lorsque le patient décède rapidement après son traitement. Ainsi, le personnel manipulant le corps peut être informé de cette manière (personnel effectuant le transport du corps, les soins au corps, l'inhumation/crémation/aquamation et l'autopsie éventuelle). Des précautions de radioprotection peuvent ainsi être prises pour optimiser l'exposition aux rayonnements ionisants selon les règles usuelles (temps, distance, écran).

Une telle carte a été proposée par HERCA en 2011 (<https://www.herca.org/herca-patient-release-card-2/>) et est présentée sur la figure 3 ci-dessous.

---

<sup>14</sup> Règlement du ministre de la Santé du 18 février 2011 relatif aux conditions d'utilisation sûre des rayonnements ionisants pour tous les types d'exposition médicale (texte consolidé du Journal officiel 2013., point 1015) - § 40

<sup>15</sup> Les autres utilités de la carte de sortie concernent la radioprotection de l'entourage, sujet traité dans le chapitre 3.1 du rapport IRSN n°2021-00484, deuxième volet de réponse à la saisine demandée par l'ASN sur les nouveaux radionucléides en médecine nucléaire (CODEP-DIS-013841, 21 avril 2020).



**Figure 3 : Carte de sortie à porter par les patients après la thérapie, telle que proposée par HERCA en 2011**

### **2.1.3.6. Rôle de l'expert en radioprotection**

Sept pays (Belgique, Allemagne, Suisse, Lettonie, Pays-Bas, Etats-Unis et Canada) mentionnent la nécessité d'être conseillé par un expert en radioprotection en cas de décès d'un patient de médecine nucléaire, et ceci à plusieurs étapes de la prise en charge du corps :

- le transport du corps;
- les soins au corps ;
- l'autopsie ;
- l'inhumation ;
- la crémation.

En règle générale, l'expert mentionné dans les recommandations est celui travaillant dans l'établissement où le patient a reçu son traitement de médecine nucléaire.

Selon les pays, les recommandations indiquent que l'expert en radioprotection peut être amené à :

- réaliser des mesures autour de la dépouille aux différentes étapes de la prise en charge du corps ;
- calculer l'activité résiduelle dans le corps du défunt et la comparer aux valeurs limites d'activité applicables ;
- calculer les doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs lors des différentes étapes de la prise en charge du corps et les comparer aux valeurs limites de doses applicables ;
- fournir des conseils aux travailleurs sur les précautions de radioprotection à suivre (risques d'exposition externe et de contamination) et être présent pour les faire appliquer afin d'optimiser les doses reçues ;
- fournir des informations sur le traitement radioactif du patient décédé auprès des travailleurs funéraires (personnels de chambre mortuaire, pompes funèbres, personnels de crématorium, etc.).

### **2.1.3.7. Recommandations de radioprotection pour les travailleurs**

S'agissant du personnel hospitalier, la feuille d'information pour les travailleurs à l'hôpital proposée en Belgique<sup>16</sup> fournit un exemple de recommandations pour le personnel hospitalier en cas de manipulation de dépouille radioactive. Celle-ci est disponible sur le site internet de l'AFCN.

S'agissant du personnel des instituts de pathologie et de médecine légale (autopsie), cinq pays (Suisse, Lituanie, Allemagne, Etats-Unis, Canada) énoncent des recommandations de radioprotection pour le personnel de

<sup>16</sup> [https://afcn.fgov.be/fr/system/files/recommandations\\_depouilles\\_radioactives.pdf](https://afcn.fgov.be/fr/system/files/recommandations_depouilles_radioactives.pdf)

pathologie et de médecine légale réalisant l'autopsie du corps. Selon les pays, les recommandations indiquent notamment que les personnels d'autopsie doivent :

- être informés du caractère radioactif du corps (e.g. via la demande d'autopsie) et des risques associés (e.g. la dose susceptible d'être reçue) ;
- être conseillés sur les précautions de radioprotection à prendre lors de l'autopsie vis-à-vis du risque d'exposition externe, notamment le suivi des règles générales de radioprotection « temps-distance-écran » et vis-à-vis du risque de contamination (port d'équipements de protection individuelle (EPI), manipulation d'un organe radioactif excisé ou de liquides radioactifs drainés, etc).
- effectuer une mesure autour du corps systématiquement et, pour cela, disposer d'un instrument de mesure et former le personnel à cette fin (cas de la Suisse<sup>17</sup>).

S'agissant du personnel de crématorium, seuls cinq pays (Belgique, Suisse, Etats-Unis, Canada et Pays-Bas) mentionnent des recommandations qui concernent notamment :

- les moyens pour limiter l'exposition externe :
  - la manière d'entreposer les charbons actifs contaminés (produits par l'installation de traitement des fumées) ;
  - la manière de conserver les urnes (cendres contaminées) ;
  - les règles usuelles de garder ses distances et réduire le temps de contact avec les sources de rayonnement ;
- les moyens pour éviter la contamination :
  - les EPI (habits, masques, gants, etc.) ;
  - le ventilateur d'extraction (poussières contaminées) ;
  - la manière de procéder au nettoyage de la chambre de crémation (pour éviter la contamination des crémations suivantes) et à la manipulation des cendres.

Les recommandations **en Belgique** semblent les plus avancées. En effet, une fiche d'information à l'attention des personnels des crématoriums a été rédigée par l'AFCN<sup>18</sup>. Cette fiche, en annexe 2 au présent rapport, mentionne en particulier un encart contenant une dizaine de « Règles générales de bonne pratique pour le personnel des crématoriums ».

#### **2.1.3.8. Limites d'autorisation pour la crémation**

Les critères rendant possible la crémation sont hétérogènes selon les pays. Ces critères peuvent être basés sur :

- l'activité résiduelle au moment de la crémation ;
- le débit de dose autour du corps ;
- la durée entre le traitement et la crémation, dépendant du radionucléide utilisé.

**En Belgique**, la crémation est possible sans précaution particulière de radioprotection si celle-ci est réalisée après la fin de la période de précaution (cf. paragraphe 2.1.3.3 ci-avant), délai qui correspond à la décroissance jusqu'à un seuil d'activité qui dépend du radionucléide. Concernant les nouveaux radionucléides, ce seuil est égal à 10 MBq pour le <sup>177</sup>Lu (PSMA ou DOTATATE) et 0,1 MBq pour le <sup>223</sup>Ra et l'<sup>166</sup>Ho. Comme discuté ci-avant (cf. paragraphe 2.1.3.3 ci-avant), les limites sont celles mentionnées dans la directive 2013/59/EURATOM. Cependant, si un patient décède avant la fin de la période de précaution, la crémation est possible avec l'accord

<sup>17</sup> « Directive L-10-03. Protection du personnel de pathologie et de médecine légale contre les dangers du rayonnement ionisant »

<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/fanm/weisungen-merkblaetter/in-kraft/l-10-03.pdf.download.pdf/L-10-03.pdf>

<sup>18</sup> <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/fiche-info-crematorium-depouilles-radioactives.pdf>

et <https://afcn.fgov.be/fr/documents/recommandations-pour-le-personnel-des-crematoriums-en-cas-manipulation-de-depouilles>

de l'AFCN et sous la surveillance d'un expert en radioprotection (mesures avant et pendant la crémation). Dans ce cas, des mesures de protection et des précautions doivent être prises par le personnel de crématorium.

**Aux Pays-Bas**, la fiche à destination des pompes funèbres (funérariums et crématoriums) citée au paragraphe 2.1.3.3 ci-avant indique que la crémation est possible après une période de précaution dépendant du radionucléide. Les nouveaux radionucléides mentionnés sont l'<sup>166</sup>Ho, le <sup>177</sup>Lu, le <sup>223</sup>Ra et le <sup>227</sup>Th.

**En Lituanie**, les activités résiduelles limites pour le <sup>89</sup>Sr, le <sup>32</sup>P, l'<sup>90</sup>Y et l'<sup>131</sup>I sont respectivement 20, 30, 70 et 400 MBq. La crémation est autorisée seulement si l'activité résiduelle, au moment de la crémation, est inférieure aux valeurs précitées. Dans le cas contraire, il est nécessaire d'attendre une décroissance suffisante pour pouvoir respecter la limite, ou bien choisir un autre type de funérailles.

**En Suisse**, les limites en activité sont définies pour chaque radionucléide à 1000 fois la Limite d'Autorisation (LA) définie règlementairement dans l'ordonnance de radioprotection (ORaP). Si ce critère n'est pas respecté, l'activité dans la dépouille doit être réduite soit en temporisant la crémation pour permettre une décroissance radioactive suffisante (jusqu'à ce que le critère soit respecté), soit par résection des organes critiques<sup>19</sup>. Ce seuil correspond à 0,9 MBq pour le <sup>223</sup>Ra, 5 GBq pour le <sup>177</sup>Lu, 6 GBq pour l'<sup>166</sup>Ho, et 0,8 MBq pour l'<sup>225</sup>Ac d'après les valeurs données dans la réglementation<sup>20</sup>. Par ailleurs, concernant des funérailles de patients traités au Xofigo en Suisse, une information a été ajoutée dans le document spécialisé à destination des professionnels<sup>21</sup>. Ce document indique que « *La crémation peut exiger un délai d'attente, qui dépend de la quantité injectée de <sup>223</sup>Ra (p.ex. un délai d'attente de 25 jours pour 4 MBq de <sup>223</sup>Ra). Le patient doit être informé de ce possible délai d'attente avant le traitement et doit se déclarer d'accord avec ce délai d'attente.* »

**En Allemagne**, la crémation est autorisée uniquement si l'équivalent de dose H\*(10) à une distance de 2 mètres de la dépouille, intégrée sur une année, est inférieur à 1 mSv.

**En France**, pour la très grande majorité des traitements de médecine nucléaire, la crémation est possible sans exigence particulière de délai avec le décès. Il existe cependant deux exceptions : d'une part, le traitement au <sup>131</sup>I-MIBG (métaiodobenzylguanidine) nécessite deux semaines de délai entre le traitement et la crémation, d'autre part le traitement au <sup>111</sup>In-pentétréotide nécessite une semaine de délai<sup>22</sup> entre le traitement et la crémation.

**Au Canada**, une période de précaution pour la crémation est recommandée pour plusieurs radionucléides thérapeutiques en médecine nucléaire (dont le <sup>177</sup>Lu et le <sup>223</sup>Ra pour ce qui concerne les nouveaux radionucléides), et varie entre 3 semaines et 1 an selon le radionucléide.

Le tableau 1 ci-après récapitule les limites retenues pour la crémation en termes d'activité pour différents pays.

**Tableau 1 : Limites en termes d'activité (en MBq) autorisant la crémation d'un patient après un traitement de médecine nucléaire**

Activités (MBq)	Radionucléide					
	<sup>177</sup> Lu	<sup>223</sup> Ra	<sup>166</sup> Ho	<sup>225</sup> Ac	<sup>131</sup> I	<sup>90</sup> Y
Lituanie	-	-	-	-	400	70
Suisse	5 000	0,9	6 000	0,8	500	3000
Belgique	10	0,1	0,1	0,1	1	0,1

Il convient de noter que les valeurs limites varient, pour un même radionucléide, de plusieurs ordres de grandeur en fonction des pays. L'exemple le plus démonstratif concerne l'<sup>166</sup>Ho avec une valeur de 0,1 MBq en Belgique contre 6 GBq en Suisse (facteur 6.10<sup>4</sup>).

<sup>19</sup> <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/fanm/weisungen-merkblaetter/in-kraft/l-10-03.pdf.download.pdf/L-10-03.pdf>

<sup>20</sup> Radiological protection ordinance 814.501, annex 3, column 10 <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/502/en>

<sup>21</sup> <https://compendium.ch/product/1276715-xofigo-sol-ini-6600-kbq-6ml/mpro>

<sup>22</sup> Les deux délais mentionnés (pour <sup>131</sup>I-MIBG et <sup>111</sup>In) ont été déterminés sur la base de l'exposition des travailleurs des crématorium (et non du public à proximité)

Le tableau 2 ci-après récapitule les limites retenues pour la crémation en termes de durées pour différents pays.

**Tableau 2 : Limites en termes de durées (en jours) autorisant la crémation d'un patient après un traitement de médecine nucléaire**

Durées (jours)	Radionucléide				
	<sup>177</sup> Lu	<sup>223</sup> Ra	<sup>166</sup> Ho	<sup>131</sup> I	<sup>90</sup> Y
Belgique <sup>23</sup>	28 (PSMA 7,4 GBq) 33 (DOTATATE 7,4 GBq)	59 (3,7 MBq)	17 (3,7 GBq)	16 (cancer thyroïde 3,7 GBq)	41 (microsphères 3,7 GBq)
France	0	0	-	- 0 (Nal) - 14 (MIBG)	0
Canada <sup>24</sup>	92	92	-	122	42

Il convient de noter que les nombres de jours (période de précaution) varient fortement, pour un même radionucléide, en fonction des pays. L'exemple le plus démonstratif concerne l'<sup>131</sup>I : 0 jours en France pour sa forme Nal contre 122 jours au Canada.

### 2.1.3.9. Recommandations relatives aux nouveaux radionucléides

Les nouveaux radionucléides thérapeutiques identifiés précédemment par l'IRSN (cf. tableau de l'avis de l'IRSN n°2021-00016) et mentionnés dans les recommandations concernant les décès ou la crémation recueillies dans le cadre de cette analyse sont le <sup>177</sup>Lu, l'<sup>166</sup>Ho, le <sup>223</sup>Ra et le <sup>227</sup>Th. En termes de radionucléides prometteurs identifiés par l'IRSN (classés en catégories 1 ou 2, cf. tableau précité), il manque ainsi l'<sup>225</sup>Ac.

La Suisse fait cependant exception sur la question des limites autorisant l'inhumation ou la crémation. Dans ce pays, les seuils en activité autorisant l'inhumation et la crémation ont été définis pour un très grand nombre de radionucléides à partir de la limite d'autorisation (10 000 LA pour l'inhumation et 1 000 LA pour la crémation). Les seuils pour l'ensemble des nouveaux radionucléides identifiés par l'IRSN (ceux mentionnés dans le tableau précité) sont effectivement présents dans cette liste.

## 2.2. Recommandations de la Commission européenne, de la CIPR et de l'AIEA

### 2.2.1. Commission européenne : Rapport Radiation protection 97 (1998)

Dans ce premier rapport [11], la question de la radioprotection en cas de décès d'un patient de médecine nucléaire est mentionnée, mais ne concerne que l'<sup>131</sup>I thérapeutique. Tout comme dans de nombreuses recommandations nationales analysées en paragraphe 2.1.3. ci-avant, il est conseillé de faire appel à un expert en radioprotection pour optimiser la radioprotection des personnes exposées dans ce cadre.

### 2.2.2. CIPR : Publication 94 (2004)

Dans ce deuxième rapport [12], davantage d'informations sont fournies sur le sujet du décès de patients de médecine nucléaire. Il est néanmoins indiqué qu'il y a un manque de recommandations internationales sur ce sujet.

De manière générale, le rapport conseille, en cas de décès quelques mois après le traitement, de contacter un expert en radioprotection ou l'hôpital ayant réalisé le traitement, car le patient n'a pas nécessairement sur lui l'information écrite de son traitement.

<sup>23</sup> Pour la Belgique, la période de précaution variant avec l'activité administrée, des activités typiques (ordre de grandeur) ont été renseignées dans le calculateur Excel proposé par l'AFCN (cf partie 2.3.3) pour déterminer les périodes de précaution (ordres de grandeur)

<sup>24</sup> Pour le Canada, les durées renseignées en mois dans la réglementation ont été converties en jours avec un facteur 30,5 puis arrondies à l'entier supérieur

Quelques cas de décès après un traitement à l'<sup>131</sup>I sont mentionnés, accompagnés des activités administrées ou résiduelles et des débits de dose mesurés au contact ou autour du corps : autour de 0,5 mGy/h au contact pour des décès ayant eu lieu environ 1 semaine après une administration de quelques GBq (traitement du cancer de la thyroïde).

Quelques recommandations en Australie, Royaume-Uni, Suède, Japon et USA sont mentionnées, mais ne seront pas détaillées pays par pays ici car il se peut que, depuis l'établissement du rapport de la CIPR (plus de 15 ans à la date d'établissement du présent rapport), les réglementations aient évolué. Néanmoins, les mêmes tendances que celles présentées dans le paragraphe 2.1.3. ci-avant sont observables, à savoir :

- la consultation d'un expert en radioprotection requise pour les situations plus risquées en termes de radioprotection ;
- des limites en activité pour pouvoir réaliser l'inhumation, l'embaumement ou la crémation ;
- la résection d'organes ou des fluides corporels contenant le plus d'activité.

### 2.2.3. AIEA : Rapport SRS 63 (2009)

Dans ce troisième rapport [13], davantage d'informations que dans les deux rapports précités sont présentes. Il mentionne une carte de sortie, que le patient doit garder sur lui pendant un certain temps après son traitement, de manière similaire à celle proposée par HERCA (cf. paragraphe 2.1.3.5. ci-avant). Tout comme la publication 94 de la CIPR, le manque de recommandations internationales sur le sujet du décès des patients de médecine nucléaire est souligné.

Dans ce rapport, les mêmes informations que dans la synthèse présentée au paragraphe 2.1.3 ci-avant sont globalement retrouvées, à savoir :

- l'identification du caractère radioactif du corps (ou de la salle où est présent le corps) ;
- des consignes pour éviter la contamination des lieux où le corps a été présent ;
- l'information des personnels funéraires (pompes funèbres, crématorium, etc.) ;
- l'information du personnel funéraire du caractère radioactif du défunt ;
- des niveaux d'activité pour lesquels les soins au corps, l'autopsie, l'inhumation ou la crémation peuvent être réalisés sans précaution particulière. Le rapport indique que les niveaux d'activité limites sont très variables en fonction des pays.

Par ailleurs, le rapport insiste sur le fait que les souhaits du défunt et de ses proches doivent être respectés le plus possible et que la communication vis-à-vis du risque radiologique doit être réalisée avec une attention particulière.

S'agissant des personnels funéraires, ils doivent être conseillés concernant les précautions à suivre et cette communication doit être réalisée avec attention pour éviter qu'ils réagissent de manière inappropriée vis-à-vis du risque radiologique. Il est également mentionné qu'une déclaration auprès de l'autorité compétente peut être requise.

Des recommandations pour l'autopsie au Royaume-Uni sont détaillées dans une annexe. Celle-ci indique que les mesures réalisées pendant des autopsies sont rassurantes du point de vue de la radioprotection. Celle-ci conclut qu'avec des précautions assez simples à mettre en œuvre, déterminées après consultation d'un expert en radioprotection et grâce à une évaluation du risque, il est tout à fait possible de réaliser une autopsie de manière sécurisée et conforme à la réglementation.

## 2.3. Résumé et propositions pour la France

Une analyse des recommandations à appliquer lorsque survient le décès d'un patient après un traitement de médecine nucléaire, ainsi que pour sa crémation, a été présentée dans ce chapitre, concernant plusieurs pays d'Europe, les Etats-Unis et le Canada. Une analyse des recommandations au niveau international (CIPR, AIEA) et

au niveau de la Commission européenne ont également été présentées. Il convient de noter que ces recommandations sont fortement hétérogènes d'un pays à l'autre, tant au niveau du contenu qu'au niveau de la quantité des informations et que certains pays n'ont pas émis de recommandations nationales à ce sujet.

Cette hétérogénéité rend difficile les comparaisons directes. Il a néanmoins été possible de comparer les limites d'activité ou les durées post-traitement pour réaliser une crémation, cette comparaison montrant que ces limites sont parfois bien différentes pour un même radionucléide.

Les pays s'accordent en revanche sur le fait que, lorsqu'un patient ayant reçu un traitement de médecine nucléaire décède, il convient de faire appel à un expert en radioprotection, afin de gérer la situation du point de vue de la radioprotection des différents travailleurs concernés par la prise en charge du corps. C'est également ce qui est mentionné dans les rapports CIPR 94 [12] et AIEA SRS 63 [13].

L'IRSN note que certains pays semblent avoir pris en main le sujet. C'est par exemple le cas en Belgique, où une méthode a été mise au point pour calculer, pour chaque patient (activité administrée et application thérapeutique propres), une période de précaution pendant laquelle il convient de rester vigilant si le patient décède, notamment vis-à-vis de la crémation et où, pour les agents des crématoriums, une fiche pratique de recommandations a été mise à disposition sur internet. Les Pays-Bas ont également effectué des travaux sur le sujet avec l'établissement d'une fiche à destination des pompes funèbres (funérariums et crématoriums), fiche qui comporte des recommandations relatives à la crémation en fonction des radionucléides.

A partir de cette analyse, l'IRSN propose plusieurs recommandations qui pourraient être appliquées en France, recommandations qui devront être discutées avec les différents professionnels intervenant dans la prise en charge du patient décédé (service de médecine nucléaire, personnel hospitalier en charge des patients décédés, pompes funèbres, personnel des crématoriums, etc.) :

- **La mise en œuvre d'un calculateur** pour déterminer, pour les différents actes de RIV, si la radioactivité présente dans le corps du défunt présente des enjeux de radioprotection pour les travailleurs funéraires. Si des enjeux sont identifiés pour certains actes de RIV, le calculateur permettra d'obtenir, au vu des doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs funéraires :
- dans le cas où le décès survient immédiatement après l'administration, le délai d'attente, après le décès, permettant de réaliser les soins au corps et le transport avant la mise en bière sans précaution de radioprotection
- dans le cas où le décès a lieu plus tardivement, la durée minimale entre l'administration et le décès permettant de réaliser les soins au corps et le transport avant la mise en bière tout de suite après le décès sans précaution de radioprotection

Une mise à jour périodique de ce calculateur devra être réalisée pour inclure les applications thérapeutiques de médecine nucléaire nouvellement mises en place.

- **La fourniture au patient d'une carte de sortie**, déjà mentionnée dans les recommandations HERCA et AIEA SRS 63, qui serait toujours à conserver sur soi après le traitement de RIV afin que l'information sur le caractère radioactif puisse être connue en cas de décès, ceci notamment dans une optique de radioprotection du personnel funéraire (pompes funèbres, travailleurs des crématoriums, etc.).
- L'établissement de fiches réflexes à destination des professionnels de santé et des personnels funéraires, pour savoir quoi faire en cas de prise en charge d'un corps radioactif (à l'image des recommandations belges précitées). En effet, comme mentionné dans les rapports CIPR 94 et AIEA SRS 63, les recommandations internationales sont rares, ces fiches réflexes permettraient ainsi de pallier ce manque.
- L'amélioration du processus d'information des pompes funèbres et des crématoriums au sujet du caractère radioactif du corps du fait d'un traitement récent de médecine nucléaire. Cette information pourrait par exemple, être indiquée sur le certificat de décès.

- L'ajout, dans les consignes écrites de radioprotection remises au patient et à ses proches, pour les traitements de RIV, d'éléments sur la conduite à tenir en cas de décès ; ces consignes devront indiquer aux proches de recontacter le service de médecine nucléaire et d'informer les personnels funéraires de ce traitement récent.

La carte de sortie, les consignes écrites de radioprotection en cas de décès et les questions des pompes funèbres posées aux proches concernant les éventuels traitement radioactifs, cités dans les alinéas ci-avant, permettront d'éviter au maximum que les travailleurs des pompes funèbres et des crématoriums n'aient pas l'information sur le caractère radioactif ou pas du corps. Ces dispositions seraient particulièrement appropriées, d'un point de vue de la radioprotection des travailleurs des pompes funèbres et des crématoriums, dans le cas où le patient décède hors de l'hôpital rapidement après son traitement. En effet, dans ce cas, il est assez probable que le caractère radioactif du corps leur soit inconnu, à la différence du cas où le patient décède à l'hôpital et pour lequel le personnel hospitalier, en particulier les conseillers en radioprotection (CRP), sont au courant du caractère radioactif du corps.

### 3. RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EFFECTUANT LES SOINS AU CORPS ET LE TRANSPORT AVANT MISE EN BIÈRE

#### 3.1. Prise en charge d'un patient décédé

Avant de présenter ce qui a été réalisé par l'IRSN dans le cadre de l'expertise objet du présent rapport, il convient d'expliquer comment est réalisée la prise en charge d'un patient décédé qui a bénéficié d'un acte de médecine nucléaire. La visite d'un CLCC qui a été confronté à un cas de décès en médecine nucléaire a permis de comprendre globalement quel parcours suit le corps, quels sont les acteurs impliqués et donc ceux qui sont susceptibles d'être exposés. Lors de cette visite, les échanges avec les professionnels concernés lors des différentes étapes ont montré que les hypothèses concernant les distances et temps de contact, précédemment utilisées dans le rapport PRP-HOM n°2016-00008 [7], étaient toujours d'actualité et ne nécessitaient pas d'être mises à jour.

Les explications ci-après montrent un exemple de parcours du corps après le décès dans deux cas :

- si le décès a lieu dans un hôpital (cas n°1) : il s'agit du cas du CLCC visité ;
- si le décès a lieu hors d'un hôpital (cas n°2).

##### Cas n°1 (décès à l'hôpital) :

Au moment du décès, le corps est laissé environ 2h dans la chambre d'hospitalisation pour que la famille puisse se recueillir. Il y a également une première toilette du corps faite par les infirmières.

Si le décès a lieu le jour, le corps est directement transporté, en camionnette, par les agents de chambre mortuaire (personnel du CLCC) vers la chambre mortuaire située à l'extérieur de l'hôpital, dans laquelle se trouvent plusieurs cases réfrigérées.

Lorsque le décès survient la nuit, il y a, dans le bâtiment principal du CLCC visité, une pièce « relai » comprenant quelques cases réfrigérées pour entreposer le corps jusqu'au lendemain. Après ce temps dans la pièce « relai », les agents de chambre mortuaire (personnel du CLCC) effectuent, en camionnette, le transport du corps vers la chambre mortuaire précitée.

Cette chambre mortuaire est dédiée aux décès du CLCC et est indépendante des pompes funèbres (la famille choisit l'entreprise qu'elle souhaite). Le corps est alors entreposé dans une des cases réfrigérées. La deuxième toilette du corps est faite ensuite par les agents de chambre mortuaire dans la salle de soins (le transport pouvant causer des régurgitations). Les soins de thanatopraxie (autrement appelés « soins de conservation »), qui ne sont pas nécessaires dans la majorité des cas (coût supplémentaire et pas forcément nécessaires si la mise en bière est rapide et la toilette faite correctement) consistent à retirer le sang et le remplacer par du formol qui recolore les chairs. Le sang devient ensuite un déchet d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) et est incinéré par le thanatopracteur. Ce dernier est extérieur au CLCC (il appartient aux pompes funèbres). Le corps est ensuite habillé par les agents de chambre (sinon par le thanatopracteur quand il y a thanatopraxie).

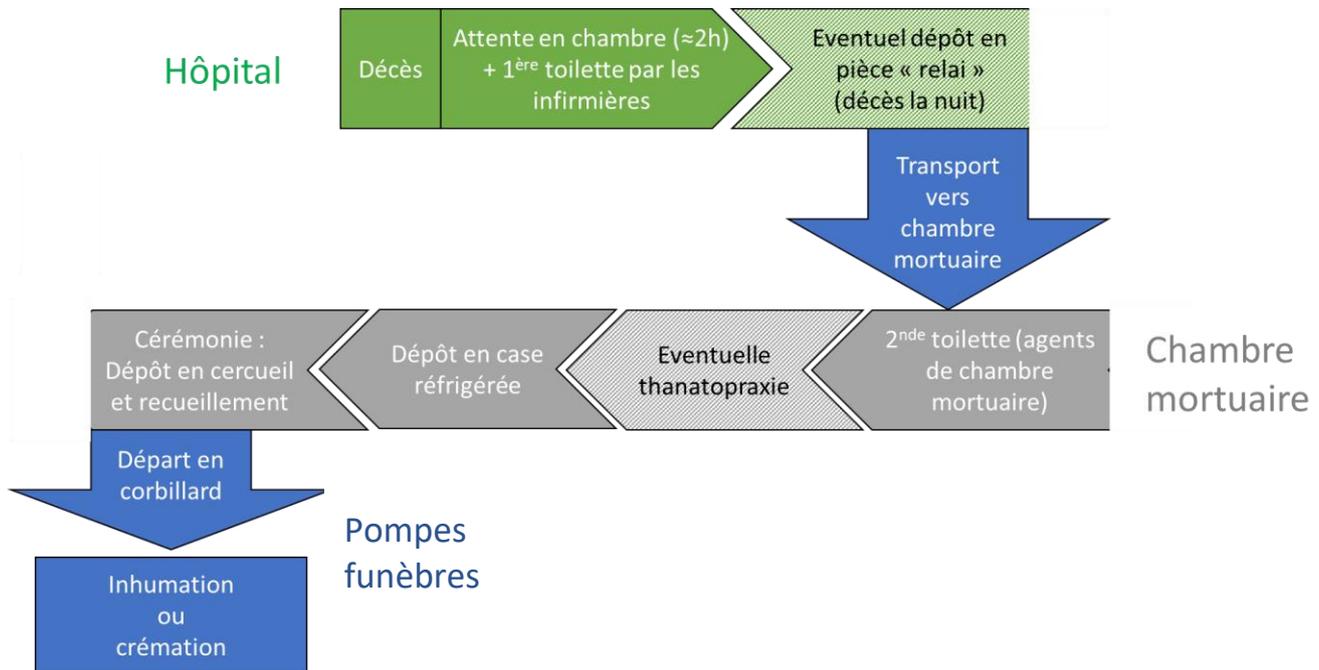
Le corps est alors placé à nouveau dans une case réfrigérée.

Au moment des funérailles, le corps est placé dans son cercueil et la cérémonie a ensuite lieu dans la partie publique de la chambre mortuaire, avec un dernier recueillement par la famille auprès du corps cercueil ouvert (45min) et ensuite fermeture du cercueil puis départ en corbillard pour inhumation ou crémation.

Concernant les autopsies, ce cas de figure est généralement assez rare et surtout pour une chambre mortuaire d'un hôpital. En effet, une autopsie ne peut être réalisée qu'à la demande :

- de la famille ;
- du médecin (après accord de la famille) ;
- du procureur de la République.

Le déroulement chronologique des différentes étapes de la prise en charge d'un patient décédé à l'hôpital est schématisé sur la figure 4 ci-après.



**Figure 4 : Déroulement chronologique des étapes de la prise en charge d'un patient décédé à l'hôpital**

#### Cas n°2 (décès hors de l'hôpital) :

A la différence du cas n°1 ci-avant, lorsque le décès n'a pas lieu dans un hôpital, la prise en charge du corps est réalisée par une entreprise de pompes funèbres (toilette, éventuelle thanatopraxie, habillage, cérémonie) et non par le personnel de chambre mortuaire de l'hôpital.

## 3.2. Objectifs et contenu du présent chapitre

Dans le rapport PRP-HOM/ n°2016-00008 [7] (relatif au transport avant mise en bière et aux soins au corps), il a été considéré d'exclure les radionucléides à visée diagnostique et donc de ne considérer que les radionucléides à visée thérapeutique. Cette exclusion a été justifiée, à l'époque, par le fait que, pour les radionucléides à visée diagnostique, par rapport aux radionucléides à visée thérapeutique, d'une part les périodes radioactives sont plus courtes, d'autre part les activités administrées sont plus faibles. Et donc par conséquent les débits de doses autour du patient sont plus faibles.

Dans le présent chapitre, pour les mêmes raisons que précédemment, seuls les nouveaux radionucléides à visée thérapeutiques sont considérés.

Il convient par ailleurs de noter que, dans le cas d'un décès dans l'hôpital où a eu lieu l'acte de médecine nucléaire, le caractère radioactif de la dépouille est généralement connu par le personnel de l'hôpital. Ainsi, il est possible d'utiliser des appareils de mesure des rayonnements disponibles dans l'hôpital afin de pouvoir mesurer le débit de dose autour de la dépouille. Ces mesures permettent ainsi d'estimer de manière réaliste la dose reçue par les professionnels de santé. De plus, le caractère radioactif étant connu, il est ainsi possible d'optimiser leur radioprotection en prenant des précautions selon les règles usuelles de radioprotection (temps-distance-écran). Ceci est valable tant pour le personnel hospitalier (infirmières qui réalisent la première toilette mortuaire, agents de chambre mortuaire qui réalisent la toilette et l'habillage, etc.) que le personnel funéraire hors hôpital informés par l'hôpital du caractère radioactif du corps (les thanatopracteurs, les pompes funèbres qui réalisent le transport du corps, le personnel des crématoriums, etc.).

A l'inverse, dans le cas où le décès n'a pas lieu à l'hôpital où a eu lieu le traitement, il est possible que le caractère radioactif du corps ne soit pas connu du personnel funéraire prenant en charge le corps (pompes funèbres, personnel de crématorium). C'est la raison pour laquelle, dans ce cas, des estimations de dose obtenues par calcul sont nécessaires, en considérant qu'aucune précaution particulière de radioprotection n'est prise pendant les opérations funéraires. Les estimations présentées ci-après, obtenues par calcul, ont été réalisées dans ce cas de figure (i.e. absence de précautions de radioprotection). Il est important de noter que le cas d'un décès de patients rapidement (i.e. quelques jours) après un traitement de médecine nucléaire est très rare mais que, dans le cadre des nouveaux radionucléides, la question de la radioprotection des travailleurs se pose et qu'il convient de la traiter.

Les nouveaux radionucléides objets de cette mise à jour sont les quatre radionucléides thérapeutiques les plus prometteurs, à savoir ceux classés en catégories 1 et 2 en termes de probabilité d'utilisation dans les services de médecine nucléaire (cf. tableau de l'avis IRSN n°2021-00016 [10]) :

- $^{177}\text{Lu}$  : pour ce radionucléide, le calcul a déjà été réalisé dans le rapport PRP-HOM/n° 2016-00008 [7], mais uniquement pour la forme Lutathera ( $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE). Les calculs ont donc été réalisés pour le  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617 et mis à jour pour le  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE avec les données plus récentes et plus complètes obtenues sur ce radionucléide (données de débits de dose).
- $^{223}\text{Ra}$  : pour ce radionucléide, le calcul a déjà été réalisé dans le rapport PRP-HOM/n° 2016-00008 [7]. Le calcul a de nouveau été réalisé avec des données plus précises de débit de dose obtenues pour ce radionucléide ;
- $^{166}\text{Ho}$  ;
- $^{225}\text{Ac}$ .

La méthode employée dans le rapport IRSN PRP-HOM/ n°2016-00008 [7] a été à nouveau appliquée, dans le présent rapport, pour les nouveaux radionucléides, pour calculer les doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs et en déduire les durées d'attente nécessaires, avant la prise en charge du corps, permettant de respecter le critère de dose choisi.

Les chapitres 3.3 à 3.5 suivants présentent les données venant compléter le rapport PRP-HOM/n° 2016-00008 [7] pour les nouveaux radionucléides pour les deux opérations funéraires les plus pertinentes (du point de vue de la radioprotection des travailleurs) : les soins au corps (incluant toilette, habillage et thanatopraxie) et le transport du corps avant mise en bière.

## 3.3. Méthode et hypothèses de calcul

### 3.3.1. Opérations réalisées

Comme indiqué ci-avant, deux opérations ont été retenues pour ce travail de complément au rapport de 2016, qui prenait en compte l'avis des professionnels du secteur funéraire membres du « GT dépouilles », à savoir les soins au corps et le transport avant mise en bière. Pour les deux opérations étudiées, les hypothèses suivantes ont été retenues concernant les opérations à réaliser, conformément aux hypothèses retenues dans le rapport PRP-HOM/2016-00008 [7] (cf. tableau 3 ci-après) et confirmées lors de la visite d'une chambre mortuaire :

- une durée de réalisation, considérée comme raisonnablement pénalisante par les professionnels ;
- une distance entre l'opérateur et la dépouille radioactive, considérée comme raisonnablement pénalisante par les professionnels ;

- le délai maximal pour les réaliser à compter du décès, en application des dispositions réglementaires en vigueur (articles R. 2213-11<sup>25</sup>, R. 2213-33<sup>26</sup> et R. 2213-35<sup>27</sup> du code général des collectivités territoriales) ;
- une exposition maximale (dose efficace) de 300  $\mu\text{Sv}$  par opération.

**Tableau 3 : Caractéristiques des opérations funéraires retenues**

Opérations	Durée (h)	Délai maximal depuis le décès (j)	Distance entre la dépouille et l'opérateur (cm)
Transport avant mise en bière	1	2	50
Soins au corps	2	6*	50

\* cette durée correspond au délai légal maximal pour réaliser l'inhumation ou la crémation (hors dérogation préfectorale), qui est donc celle retenue pour les soins au corps.

Le personnel funéraire effectuant les soins au corps et le transport avant mise en bière sont des travailleurs non classés du point de vue de la radioprotection. Afin de rester dans cette configuration, l'évaluation des risques doit montrer que la dose efficace susceptible d'être reçue par ces travailleurs est inférieure à la valeur de 1 mSv/an. Afin de rester en dessous de cette valeur et étant donné que les situations d'exposition de ces travailleurs sont difficilement maîtrisables du fait du caractère très rare de celles-ci, l'IRSN a choisi un critère de dose inférieur à cette valeur, correspondant au tiers (arrondi à 100  $\mu\text{Sv}$  près), à savoir 300  $\mu\text{Sv}$ . De plus, cette valeur permet de prendre en compte le cas, encore plus rare, de l'exposition d'un travailleur funéraire prenant en charge de deux ou trois patients décédés dans une même année.

Ce type de démarche est souvent appliquée, par exemple pour le public, comme cité dans le tableau 6.2 de la publication 103 de la CIPR (version française) [14] ou dans le rapport RP 97 [11] de la Commission européenne.

Cette valeur de 300  $\mu\text{Sv}$  a été utilisée pour calculer, à partir des doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs, les délais d'attente nécessaires avant la prise en charge du corps.

### 3.3.2. Radionucléides pris en compte et activités associées

Pour l'établissement du présent rapport et comme indiqué précédemment, la liste de radionucléides initialement établie lors du « GT dépouilles » (le tableau 2 du rapport PRP-HOM/2016-00008 [7]), a été complétée pour prendre en compte les quatre nouveaux radionucléides thérapeutiques les plus prometteurs cités dans l'avis IRSN n°2021-00016 [10]. Cette liste de radionucléides, leurs périodes physiques, les formes physique ou pharmaceutique, les applications et les activités associées sont présentés dans le tableau 4 ci-après.

Comme indiqué au chapitre 3.2 ci-avant, les radionucléides à visée diagnostique n'ont pas été considérés du fait que les périodes sont plus faibles que ceux à visée thérapeutique, les niveaux activités le sont également et, par conséquent, les débits de dose sont en général plus faibles et décroissent rapidement, ce qui n'implique généralement pas de disposition particulière de radioprotection pour les personnes prenant en charge la dépouille.

<sup>25</sup> L'article R.2213-11 indique que le transport du corps doit s'effectuer dans un délai maximal de 48h

<sup>26</sup> L'article R.2213-33 indique que l'inhumation doit être effectuée dans un délai maximal de 6 jours

<sup>27</sup> L'article R.2213-35 indique que la crémation doit être effectuée dans un délai maximum de 6 jours

**Tableau 4 : Liste des radionucléides et des activités retenues**

Radionucléide	Période physique (j)	Forme physique ou pharmaceutique	Application	Activité administrée (MBq)
Holmium 166	1,1	Microsphères (QuiremSpheres)	cancers du foie (radio-embolisation)	12 000
Lutétiem 177	6,7	[177Lu][DOTA0, Tyr3] octreotate (Lutathera®)	tumeurs de l'intestin	7 400
		PSMA	métastases osseuses des cancers de la prostate	7 400
Radium 223	11,4	chlorure (Xofigo®)	métastases osseuses	6
Actinium 225	10,0	PSMA-617	métastases osseuses des cancers de la prostate	15

### 3.3.3. Constantes de débit d'équivalent de dose des radionucléides

Les constantes de débit d'équivalent de dose ont été déterminées en se référant aux publications faisant état de mesures à proximité de patients. Quand elle existe, la valeur maximale mesurée parmi les patients a été sélectionnée, avec l'objectif d'être conservatif. A défaut, la valeur moyenne ou médiane a été retenue.

Les constantes de débit d'équivalent de dose (débit d'équivalent de dose à 1 mètre pour une activité de 1 GBq) figurent dans le tableau 12 en annexe 3 au présent rapport.

### 3.3.4. Périodes effectives des médicaments radiopharmaceutiques

Les périodes effectives retenues pour les calculs sont issues de la littérature, à savoir principalement celles présentées dans les fiches par radionucléide en annexe au rapport IRSN 2021-00083 [1]. A défaut, la période physique a été utilisée. Pour l'<sup>166</sup>Ho, la période physique a été choisie, du fait de l'application considérée (microsphères fixées dans le foie donc pas d'élimination biologique). Le tableau 13 en annexe 3 au présent rapport recense les données publiées par type de médicament radiopharmaceutique.

Les périodes effectives ont été choisies de façon relativement conservatrice. Pour la grande majorité des patients, l'excrétion sera plus rapide.

### 3.3.5. Méthode de calcul

Le débit d'équivalent de dose  $\dot{H}^*(10)$  à une distance  $d$  de la dépouille du patient est calculé par la relation :

$$\dot{H}^*(10) = \frac{\Gamma \cdot A \cdot d_{réf}^2}{d^2} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t_1}{T_{eff}}} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t_2}{T_{phy}}}$$

avec :

- A l'activité administrée (GBq), dont les valeurs figurent dans le tableau 4 ci-avant ;
- $d$  la distance à la dépouille (m), fixée à 0,5 m (tableau 3 ci-avant) ;
- $\Gamma$  la constante de débit d'équivalent de dose du radionucléide ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$ ), telle que déterminée au paragraphe 3.3.3 ci-avant ( cf. tableau 12 en annexe 3 au présent rapport) ;
- $T_{eff}$  la période effective du médicament radiopharmaceutique (jours), telle que déterminée au paragraphe 3.3.4 ci-avant (cf. tableau 13 en annexe 3 au présent rapport) ;

- $T_{\text{phy}}$  la période physique du radionucléide considéré (jours), dont les valeurs figurent dans le tableau 4 ci-avant ;
- $t_1$  le laps de temps entre l'administration et le décès (jours) ;
- $t_2$  le laps de temps depuis le décès (jours) ;
- $d_{\text{réf}}$  la distance de référence égale à 1 m.

Durant l'intervalle de temps entre l'administration du médicament radiopharmaceutique et le décès du patient, l'activité corporelle décroît suivant la période effective. Après le décès du patient, l'activité de la dépouille décroît suivant la période physique du radionucléide.

L'équivalent de dose  $H^*(10)$ , estimateur de la dose efficace  $E$ , reçu lors d'une opération durant un temps  $\Delta t$  est obtenu par la relation :

$$H^*(10) = \dot{H}^*(10) \cdot \Delta t$$

Conformément aux hypothèses retenues par le « GT dépouilles », les calculs ainsi réalisés surestiment l'exposition pour plusieurs raisons :

- le débit d'équivalent de dose calculé à la distance de 0,5 m retenue est surestimé en le calculant à partir d'un débit d'équivalent de dose à 1 m par la loi de l'inverse du carré de la distance ;
- il est considéré une présence en continu à 0,5 m pendant toute la durée de l'opération ;
- les constantes de débit d'équivalent de dose et les périodes effectives ont été choisies parmi les valeurs les plus élevées de la littérature.

## 3.4. Résultats

### 3.4.1. Cas permettant une prise en charge immédiate de la dépouille

Pour chaque type de traitement, le débit d'équivalent de dose à 0,5 m du corps a été calculé en considérant la situation pénalisante d'un décès immédiat après administration (tableau 14 en annexe 3 au présent rapport).

Lorsque ce débit est inférieur à 150  $\mu\text{Sv/h}$ , il est possible de réaliser les opérations funéraires considérées (dont la plus longue dure 2 heures) sans délai après le décès, tout en maintenant la dose efficace reçue par le travailleur en dessous de 300  $\mu\text{Sv}$ . Cette dernière valeur peut être utilisée à condition qu'une seule prise en charge d'un corps radioactif par an et par travailleur soit réalisée, ce qui constitue une hypothèse réaliste. En effet, une étude belge réalisée par l'AFCN<sup>28</sup> a montré que, sur 500 dépouilles prises en charge au crématorium, une seule présentait un niveau de radioactivité supérieur au bruit de fond. L'étude indique que le rayonnement détecté provenait des substances radioactives utilisées dans le cadre d'applications médicales, la plupart des substances radioactives détectées ayant été utilisées à des fins de diagnostic et étant donc insignifiantes en termes de risque radiologique.

Sur la base de ces hypothèses (en particulier l'hypothèse pénalisante de décès immédiat après administration), les actes pour lesquels la prise en charge immédiate de la dépouille est possible sont ainsi les suivants (cf. tableau 14 en annexe 3 au présent rapport) :

- le traitement palliatif des métastases osseuses par  $^{223}\text{Ra}$  ;
- le traitement au  $^{225}\text{Ac}$ -PSMA des cancers métastatiques de la prostate.

<sup>28</sup> <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-fiche-info-crematorium-depouilles-radioactives.pdf>

### 3.4.2. Cas ne permettant pas une prise en charge immédiate de la dépouille

#### 3.4.2.1. Durée minimale avant prise en charge dans le cas d'un décès juste après l'administration du MRP

Pour les actes ne permettant pas une prise en charge immédiate de la dépouille si le décès survient juste après l'administration d'un MRP à visée thérapeutique (traitements au  $^{177}\text{Lu}$  et au  $^{166}\text{Ho}$ ), les durées de décroissance à respecter pour permettre de réaliser le transport avant mise en bière (opération d'une durée de 1 h) et les soins au corps (opération d'une durée de 2 h) ont été calculées.

Ces actes qui ne permettent pas la prise en charge immédiate des dépouilles, permettent toutefois une prise en charge après un délai compatible avec ceux imposés par la réglementation (i.e. moins de 48h pour le transport et moins de 6 jours pour les soins au corps).

Les délais sont présentés dans le tableau 5 ci-après, ainsi que, de manière plus détaillée dans le tableau 15 en annexe 3 au présent rapport. Le tableau 15 donne également des détails concernant les débits d'équivalent de dose.

**Tableau 5 : Délais d'attente nécessaire pour réaliser d'une part le transport avant la mise en bière et d'autre part les soins au corps, avec l'hypothèse d'un décès immédiat à l'administration**

MRP/DMIA	$^{177}\text{Lu}$ - DOTATATE	$^{177}\text{Lu}$ - PSMA	$^{166}\text{Ho}$ - microsphères
Délai d'attente nécessaire pour réaliser le transport avant mise en bière	Immédiat	Immédiat	1 jour
Délai d'attente nécessaire pour réaliser les soins au corps	5 jours	4 jours	2 jours

Les écarts entre les deux délais (i.e. pour le transport et pour les soins au corps) sont variables d'un radionucléide à l'autre. Ceci est dû au fait que, dans la mesure où l'IRSN considère un décès immédiat après l'administration, seule la décroissance physique s'applique, la période physique de  $^{166}\text{Ho}$  étant proche de 1 jour (26,8 h) tandis que celle du  $^{177}\text{Lu}$  est de 6,6 jours.

#### 3.4.2.2. Durée minimale entre l'administration du MRP et le décès permettant une prise en charge immédiate des dépouilles

Les situations impliquant le  $^{177}\text{Lu}$  et  $^{166}\text{Ho}$  conduisent à différer la prise en charge du corps. Toutefois les calculs ont été réalisés dans le cas très pénalisant d'un décès survenu juste après l'administration du MRP.

Pour ces situations, le laps de temps entre l'administration du MRP et le décès permettant une prise en charge immédiate après le décès a été estimé. Le résultat est présenté dans le tableau 6 ci-après et détaillé dans le tableau 17 en annexe 3 au présent rapport. En d'autres termes, si le décès survient après ce délai (commençant à partir de l'administration), le corps peut être pris en charge immédiatement (c'est-à-dire qu'à partir de ce moment, le débit de dose à 0,5 m de la dépouille devient inférieur à 150  $\mu\text{Sv/h}$ ).

**Tableau 6 : Délai entre l'administration et le décès permettant de réaliser les opérations funéraires immédiatement<sup>29</sup>**

MRP/DMIA	$^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE	$^{177}\text{Lu}$ -PSMA	$^{166}\text{Ho}$ - microsphères
Délai entre administration et décès permettant de réaliser les opérations funéraires immédiatement	1 jour	1 jour	2 jours

<sup>29</sup> Les délais mentionnés dans ce tableau ont été arrondis au jour près par excès. Les valeurs plus précises (en jours avec un chiffre après la virgule) se trouvent dans le tableau 17, en annexe 3

### 3.4.2.3. Comparaison des délais obtenus avec les études précédentes de l'IRSN

Les délais obtenus pour le  $^{177}\text{Lu}$  et  $^{166}\text{Ho}$  ont été comparés à ceux obtenus pour les traitements ayant les délais les plus longs présentés dans le rapport IRSN PRP-HOM/2016-00008 [7], à savoir les formes NaI et MIBG de  $^{131}\text{I}$ . Cette comparaison est présentée dans le tableau 7 ci-après.

**Tableau 7 : Comparaison des délais calculés, entre les nouveaux radionucléides ne permettant pas une prise en charge immédiate de la dépouille et  $^{131}\text{I}$  (NaI et MIBG)**

MRP/DMIA	$^{177}\text{Lu}$ - DOTATATE	$^{177}\text{Lu}$ - PSMA	$^{166}\text{Ho}$ - microsphères	$^{131}\text{I}$ - NaI (3,7 GBq)	$^{131}\text{I}$ - MIBG (7,4 GBq)
Délai d'attente nécessaire pour réaliser le transport avant mise en bière	Immédiat	Immédiat	1 jour	11 jours	19 jours
Délai d'attente nécessaire pour réaliser les soins au corps	5 jours	4 jours	2 jours	19 jours	27 jours

Cette comparaison montre que les nouveaux radionucléides étudiés présentent moins d'enjeu de radioprotection pour les travailleurs funéraires que  $^{131}\text{I}$ . De plus, à la différence de  $^{131}\text{I}$ , l'ensemble des délais calculés pour  $^{166}\text{Ho}$  et pour le  $^{177}\text{Lu}$  sont compatibles avec les délais réglementaires à respecter pour les opérations funéraires qui sont de 2 jours pour le transport avant la mise en bière et 6 jours pour les soins au corps (cf. paragraphe 3.3.1 ci-avant). Il n'y a donc pas nécessité d'obtenir, de la part de la préfecture, de dérogation à ces délais pour ces radionucléides.

### 3.4.2.4. Hospitalisation des patients

Pour certains traitements, les patients sont hospitalisés dans des chambres spécifiquement aménagées (recueil des urines, parois renforcées). Conformément à la réglementation (arrêté du 21 janvier 2004 relatif à l'information des personnes exposées aux rayonnements ionisants lors d'un acte de médecine nucléaire), les services de médecine nucléaire doivent définir la durée d'application des mesures de protection de l'entourage après leur sortie d'hospitalisation. La plupart de ces services appliquent les recommandations de la section radioprotection du Conseil supérieur d'hygiène publique de France [34, 35] et réalisent des mesures de débit d'équivalent de dose à 1 mètre des patients avant leur sortie.

A partir de ces mesures, il est possible de vérifier que l'activité résiduelle est suffisamment basse pour qu'en cas de décès, la prise en charge de la dépouille n'occasionne pas d'exposition supérieure à 300  $\mu\text{Sv}$  pour les travailleurs considérés dans la présente étude, pour lesquels le débit d'équivalent de dose à 0,5 m du patient doit être inférieur à 150  $\mu\text{Sv/h}$  (2h de soins au corps).

Les recommandations du groupe HERCA [15] mentionnent une hospitalisation des patients jusqu'à ce que le débit d'équivalent de dose à 1 mètre soit inférieur à 40  $\mu\text{Sv/h}$ . Il se trouve que cette valeur à 1 mètre correspond à peu près à la valeur de 150  $\mu\text{Sv/h}$  à 0,5 m précitée (calcul de l'inverse du carré des distances<sup>30</sup>).

En France, la plupart des services de médecine nucléaire utilisent un critère plus strict, de l'ordre de 20-25  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 mètre [16].

Pour conclure, pour les patients hospitalisés, le respect des recommandations HERCA en termes de débit de dose (40  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 mètre), et d'autant plus la valeur majoritairement appliquée en France (20-25  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 mètre),

<sup>30</sup> Mathématiquement, un débit de dose de 40  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 mètre correspond, après application de l'inverse carré de la distance, à un débit de 160  $\mu\text{Sv/h}$  à 50 cm. Or, un patient ne correspondant pas à une source ponctuelle, l'inverse carré de la distance surestime le débit à 50 cm, raison pour laquelle 150  $\mu\text{Sv/h}$  à 50 cm correspond à peu près à 40  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 mètre.

implique que si le patient décède après sa sortie d'hôpital, la prise en charge du corps est possible immédiatement (soins au corps et transport avant mise en bière).

### 3.5. Conclusion

Les travaux réalisés par l'IRSN dans le cadre du présent rapport ont consisté, sur la base d'hypothèses pénalisantes, à évaluer dans quelles conditions les opérations funéraires sur des dépouilles de patients ayant bénéficié d'un traitement par administration de radionucléides peuvent être réalisées pour maintenir la dose efficace des travailleurs concernés inférieure à la valeur de 300  $\mu\text{Sv}$  par opération. Les résultats de ces évaluations sont présentés dans le tableau 8 ci-après, qui vient compléter le tableau 3 du rapport PRP-HOM/2016-00008 [7].

**Tableau 8 : Recommandations concernant la conduite à tenir pour les soins au corps et le transport avant mise en bière permettant de maintenir l'exposition en dessous du critère de dose de 300  $\mu\text{Sv}$ , en fonction des actes thérapeutiques**

Actes thérapeutiques	Activité administrée	Hospitalisation ?	Conduite à tenir : Transport avant mise en bière	Conduite à tenir : Soins au corps
$^{223}\text{Ra}$ : métastases osseuses	6 MBq	Non	Aucune disposition particulière de radioprotection (La réalisation immédiate de ces opérations est possible)	
$^{225}\text{Ac}$ : cancers de la prostate métastatiques	15 MBq	A priori non		
$^{166}\text{Ho}$ : Radioembolisation des cancers du foie par microsphères	12 GBq	Pas systématique	Délai de 24h à observer depuis le décès*	Délai de 48h à observer depuis le décès*
			<u>Exceptions (i.e. prise en charge réalisable immédiatement) :</u> 1/Si le décès a lieu pendant l'hospitalisation et si des mesures montrent un débit dose inférieur à 150 $\mu\text{Sv/h}$ à 0,5 m du corps 2/Si le décès a lieu plus de 48 heures après l'administration**	
$^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE : tumeurs de l'intestin	7,4 GBq	Pas systématique	Aucune disposition particulière de radioprotection (Le transport est possible immédiatement)	Délai de 5 jours à observer depuis le décès*
				<u>Exceptions (i.e. prise en charge réalisable immédiatement) :</u> 1/Si le décès a lieu pendant l'hospitalisation et si des mesures montrent un débit dose inférieur à 150 $\mu\text{Sv/h}$ à 0,5 m du corps 2/Si le décès a lieu plus de 24h après l'administration**
$^{177}\text{Lu}$ -PSMA : cancers de la prostate métastatiques	7,4 GBq	Pas systématique		Délai de 4 jours à observer depuis le décès*
				<u>Exceptions (i.e. prise en charge réalisable immédiatement) :</u> 1/Si le décès a lieu pendant l'hospitalisation et si des mesures montrent un débit dose inférieur à 150 $\mu\text{Sv/h}$ à 0,5 m du corps 2/Si le décès a lieu plus 24h après l'administration**

\*Ce délai d'attente a été obtenu avec l'hypothèse d'un décès immédiatement après l'administration, seule la décroissance physique s'applique donc. Si le décès a lieu après le délai mentionné dans l'exception n°2, alors la prise en charge est réalisable immédiatement.

\*\*Ce délai entre administration et décès a été calculé en prenant en compte la décroissance biologique et physique du MRP/DMIA.

## 4. RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS DES CREMATORIUMS

La gestion de patients décédés peu de temps après l'administration de médicaments radiopharmaceutiques (ou de DMIA) à des fins thérapeutiques ou diagnostiques peut exposer le personnel des crématoriums. Une estimation de la dose susceptible d'être reçue par ce personnel est proposée dans le présent chapitre.

Afin de retenir des hypothèses représentatives des opérations réalisées en crématorium, l'IRSN a visité, en 2013, deux crématoriums situés à Reims (équipé d'un système de traitement des fumées) et à Evry (qui ne disposait pas encore de système de traitement des fumées) et, en 2022, le crématorium de Montfermeil, équipé d'un système de traitement des fumées différent de celui de Reims.

A la différence des opérations de transport avant mise en bière et de soins au corps (présenté au chapitre 3 ci-avant), les radionucléides utilisés à des fins diagnostiques ont été retenus dans le cas des opérations de crémation du fait du risque d'exposition interne additionnel. En effet, bien que les débits de dose autour des patients soient faibles en diagnostic (cf. paragraphe 3.2 ci-avant), la contamination interne possible pendant les opérations de crémation induit un risque supplémentaire qu'il convient d'évaluer.

### 4.1. Radionucléides retenus

La médecine nucléaire consiste à administrer des radionucléides à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. Une liste des radionucléides susceptibles d'être administrés au patient ainsi que des activités maximales associées a été établie (cf. tableaux 9 et 10 ci-après, respectivement pour le diagnostic et la thérapie). Il s'agit de la liste des radionucléides retenus dans le cadre de l'étude ayant conduit au rapport PRP-HOM/ n°2016-0007, mise à jour avec les radionucléides de catégories 1 et 2 identifiés par l'IRSN en termes de priorité (cf. tableau de l'avis IRSN n°2021-00016 [10]).

Les activités administrées sont des données issues de la littérature à l'exception des valeurs suivies d'une étoile\*, choisies arbitrairement en l'absence de données bibliographiques confirmées.

**Tableau 9 : Liste des radionucléides utilisés en diagnostic retenus pour l'étude et activités administrées**

	Activités (MBq)	Période radioactive (h)	Commentaires
<sup>67</sup> Ga	300	78,24	
<sup>89</sup> Zr	200	78,48	Nouveau radionucléide de catégorie 2
<sup>99m</sup> Tc	1000	6,02	
<sup>111</sup> In	250	67,92	
<sup>123</sup> I	200	13,20	
<sup>131</sup> I	40	192,96	
<sup>201</sup> Tl	150	72,96	
<sup>68</sup> Ga	300	1,13	Nouveau radionucléide de catégorie 1
<sup>64</sup> Cu	400	12,70	Nouveau radionucléide de catégorie 2

**Tableau 10 : Liste des radionucléides utilisés en thérapie retenus pour l'étude et activités administrées**

	Activités (MBq)	Période radioactive (h)	Commentaires
<sup>67</sup> Cu	4000	61,92	
<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	250	64,08	
<sup>90</sup> Y (Zevalin®)	1200	64,08	
<sup>90</sup> Y (microsphères)	3700	64,08	
<sup>111</sup> In	7000	67,92	
<sup>131</sup> I (hors cancer)	800	192,96	
<sup>131</sup> I (thyroïde)	4000	192,96	
<sup>131</sup> I (MIBG)	8000	192,96	
<sup>153</sup> Sm	4000	46,80	
<sup>169</sup> Er	750	223,20	
<sup>177</sup> Lu	7400	161,04	<b>Nouveau radionucléide de catégorie 1</b>
<sup>186</sup> Re	400	90,72	
<sup>188</sup> Re	7000	17,00	Nouveau radionucléide (catégorie 3)
<sup>211</sup> At	400	7,21	Nouveau radionucléide (catégorie 3)
<sup>212</sup> Pb	10 *	10,6	Nouveau radionucléide (catégorie 3)
<sup>212</sup> Bi	1000 *	1,01	Nouveau radionucléide (catégorie 3)
<sup>213</sup> Bi	7400	0,76	Nouveau radionucléide (catégorie 3)
<sup>223</sup> Ra	6	273,60	<b>Nouveau radionucléide de catégorie 1</b>
<sup>225</sup> Ac	15	240,00	<b>Nouveau radionucléide de catégorie 2</b>
<sup>166</sup> Ho	12000	26,88	<b>Nouveau radionucléide de catégorie 2</b>

\* valeur choisie arbitrairement en l'absence de données bibliographiques confirmées

Les activités administrées en diagnostic sont plus faibles qu'en thérapie. Parmi les radionucléides utilisés pour du diagnostic, le <sup>18</sup>F n'est pas retenu pour cette étude du fait de l'activité administrée relativement faible (de l'ordre de 200-300 MBq) et de sa courte période radioactive (110 minutes). Il en est de même pour le <sup>82</sup>Rb en raison de sa période radioactive de 1,26 min. Parmi les radionucléides utilisés dans le cadre de thérapies, donc avec des doses administrées plus importantes, le <sup>212</sup>Bi et le <sup>213</sup>Bi ont été retenus du fait des activités administrées bien qu'ils aient une période radioactive de l'ordre de l'heure.

## 4.2. Evaluation dosimétrique

Les étapes d'une crémation (de l'arrivée du cercueil à la remise de l'urne, voire sa conservation) et de la gestion de l'installation de traitement des fumées d'un crématorium sont détaillées en annexe 4 au présent rapport. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

### 4.2.1. Considérations préliminaires et hypothèses générales

Pour évaluer l'exposition du personnel des crématoriums lors de la prise en charge d'une dépouille radioactive, les délais entre l'administration d'un radiopharmaceutique, la survenue du décès et la crémation sont des

éléments importants à prendre en compte car ils permettent d'estimer l'activité résiduelle présente dans le corps.

Après l'administration d'un radiopharmaceutique, l'activité des radionucléides diminue par décroissance biologique et par décroissance physique. Tout délai entre l'administration d'un radiopharmaceutique et le décès contribue donc à diminuer l'activité retenue dans le corps ce qui réduit le risque d'exposition des professionnels prenant en charge la dépouille.

Pour l'évaluation menée, compte-tenu des délais variables entre le moment de l'administration du produit radiopharmaceutique et le décès du patient, il est difficile d'établir un scénario unique. Dans une démarche conservative, l'IRSN ne considère donc ni la décroissance biologique, ni la décroissance physique entre l'administration du radiopharmaceutique et le décès même s'il est très peu probable que le décès survienne quelques heures seulement après l'administration d'un radiopharmaceutique. **Dans les calculs présentés, l'activité retenue au moment du décès est donc l'activité administrée, ce qui est une hypothèse très conservative qui conduit à majorer la dose reçue par le personnel des crématoriums.**

Après le décès, l'activité retenue dans le corps continue à diminuer par décroissance physique. Le délai avant la crémation contribue donc également à limiter le risque d'exposition du personnel des crématoriums. **Conformément à l'article R.2213-35 du code général des collectivités territoriales, l'IRSN considère deux scénarios en retenant un délai de 1 jour et un délai de 6 jours entre le décès et la crémation du corps.** L'IRSN rappelle que, sur la base de l'étude présentée dans le rapport PRP-HOM/ n°2016-0007, l'ASN a recommandé **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** que le délai entre le traitement au <sup>131</sup>I MIBG (radionucléide présentant des enjeux de radioprotection) et la crémation soit de deux semaines<sup>31</sup>. Donc, dans le cas d'une crémation suite à un décès quelques heures après un traitement au <sup>131</sup>I MIBG, les délais de 1 jour et 6 jours entre le décès et la crémation majorent l'exposition des travailleurs concernés.

L'IRSN note par ailleurs que les crématoriums n'ont pas toujours connaissance du caractère radioactif des dépouilles prises en charge, notamment si le décès n'a pas lieu dans un établissement médicalisé. Il n'est donc pas possible de s'appuyer sur leur retour d'expérience pour estimer la fréquence de prise en charge de dépouille radioactive. **Le présent chapitre présente donc la dose générée par la prise en charge d'une seule dépouille radioactive.** A cet égard, il convient de noter que, comme mentionné au paragraphe 3.4.1 ci-avant, une étude Belge de l'AFCN [17] a montré que sur 500 dépouilles prises en charge au niveau d'un crématorium, une seule présentait un niveau de radioactivité supérieur au bruit de fond.

Pour réaliser l'évaluation dosimétrique, l'IRSN s'est appuyé sur les éléments recueillis auprès des exploitants et salariés lors des visites de crématoriums, notamment pour ce qui concerne les durées de manipulation et d'entreposage, les distances à la source lors des différentes étapes et les formes géométriques des sources.

En première approche et de manière conservative, l'IRSN :

- n'a pas considéré les équipements de protection collective (hotte aspirante, ventilation) ou le port des équipements de protection individuelle ;
- n'a pas retenu de facteur d'atténuation dû aux matériaux du four, de l'urne, des cloisons du crématorium et des équipements de l'installation de traitement des fumées.

Pour les scénarios d'exposition qui engendreraient une exposition significative des opérateurs, l'IRSN a réalisé, en seconde approche, une estimation plus réaliste en valorisant les équipements de protection individuelle et en tenant compte de l'atténuation due aux matériaux qui pourraient constituer une protection contre les rayonnements ionisants.

<sup>31</sup> Cela nécessite une demande de dérogation, auprès de la préfecture, de dépassement du délai légal de 6 jours entre le décès et la crémation

## 4.2.2. Description des sources de rayonnement lors de la crémation d'une dépouille radioactive

Les sources de rayonnements ionisants varient selon les étapes de la crémation et les activités de maintenance réalisées par le personnel des crématoriums (cf. annexe 4 au présent rapport). Lors de la réception du cercueil, de la préparation de ce dernier (cérémonie et introduction dans le four), la source de rayonnements ionisants est la dépouille elle-même. Pendant la crémation, le bois du cercueil, les vêtements et les chairs sont transformés en fumées (gaz et fines particules) qui sont évacuées vers des équipements de traitement des fumées avant rejet à l'atmosphère. Les parties osseuses résultant de la crémation et restant dans le four sont issues de la partie calcaire des os, encore appelée « calcius ». Ce calcius est ensuite broyé pour former les « cendres ». Fumées, calcius, cendres et équipements de traitement des fumées sont des sources de rayonnements ionisants éventuels.

Parmi les radionucléides listés dans les tableaux 9 et 10 ci-avant, le samarium et le radium se fixent dans les os. Une partie de la quantité injectée de  $^{225}\text{Ac}$  (sous forme libre) peut également se fixer dans les os. Toutefois, si le décès a lieu très peu de temps après l'injection, ces radionucléides n'auront pas eu le temps d'être assimilés dans les os. Par conservatisme, l'IRSN considère que ces trois radionucléides ( $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{223}\text{Ra}$  et  $^{225}\text{Ac}$ ) se retrouvent en totalité, d'une part dans le calcius puis dans les cendres, d'autre part en totalité dans les fumées. Cette approche est très conservatrice. Pour les autres radionucléides présentés dans les tableaux 9 et 10 ci-avant, l'IRSN considère que l'intégralité de ces radionucléides se retrouve dans les fumées.

Selon leur forme physico-chimique, les radionucléides sont soit rejetés directement à l'atmosphère, soit retenus par le réactif (cf. annexe 4 au présent rapport) dans l'installation de traitement des fumées. L'IRSN retient l'hypothèse conservatrice, du point de vue de la radioprotection des travailleurs intervenant dans les crématoriums, selon laquelle tous les radionucléides se fixent intégralement au réactif et sont donc retenus dans le filtre, quelle que soit sa technologie, puis dans le(s) fût(s) de stockage du réactif contaminé.

Pour résumer, l'IRSN considère donc les sources suivantes :

- lors de la réception et manipulation du cercueil, la source est la dépouille radioactive, quel que soit le radionucléide administré ;
- après la crémation, lors de la manipulation du calcius puis des cendres, l'opérateur n'est exposé qu'aux rayonnements ionisants issus des radionucléides fixés dans les os qui sont le  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{223}\text{Ra}$  et l' $^{225}\text{Ac}$  ;
- le filtre (quelle que soit sa technologie) puis le(s) fût(s) de stockage du réactif contaminé représentent des sources de rayonnements ionisants quel que soit le radionucléide administré.

## 4.2.3. Voies d'exposition des différents travailleurs intervenant dans les crématoriums

Les différentes voies d'exposition des travailleurs intervenant dans les crématoriums présentées dans ce chapitre sont retenues en fonction du radionucléide administré et de l'équipement du crématorium pour le traitement des fumées.

### 4.2.3.1. Voies d'exposition lors de la crémation et de la manipulation des cendres

Lors de la réception et de la préparation du cercueil, le cercueil est fermé et le radionucléide confiné dans la dépouille. La seule voie d'exposition, quel que soit le radionucléide concerné, est l'exposition externe par irradiation.

Le four étant en dépression (via la ligne de filtration), l'opérateur n'est pas directement exposé aux poussières et aux gaz issus de la crémation pendant la crémation et lors de l'ouverture de la porte du four. La voie d'exposition retenue est l'exposition externe par irradiation, et ce quel que soit le radionucléide concerné.

Pour les étapes suivantes (récupération du calcius, broyage du calcius, préparation de l'urne et nettoyage éventuel), l'opérateur doit porter un masque FFP3 ainsi qu'un écran facial et des gants ignifugés. Mais en

pratique, les opérateurs portent très peu le masque et l'écran facial. La zone de travail est ventilée mais reste très empoussiérée. Enfin, les instruments utilisés par l'opérateur ne sont pas nettoyés après chaque utilisation et l'IRSN a pu observer, lors des visites, la présence d'un dépôt poussiéreux permanent sur les instruments. Les voies d'exposition considérées pour ces étapes sont donc les suivantes :

- l'exposition externe par irradiation ;
- l'exposition interne par inhalation ;
- l'exposition interne par ingestion par inadvertance.

Les urnes non restituées immédiatement à la famille du défunt sont conservées dans un local spécifique pour une période maximale d'un an (et parfois plus). En cas de conservation de l'urne, la seule voie d'exposition est l'exposition externe par irradiation.

#### **4.2.3.2. Voies d'exposition pour le traitement des fumées – technologie « petit conteneur »**

Les opérations pouvant être réalisées par l'opérateur de crématorium sont les suivantes :

- nettoyage du filtre et mise en fût du réactif usagé ;
- injection de réactif neuf ;
- activités à distance du filtre et/ou du lieu d'entreposage du fût contaminé avant son évacuation.

Pour les crématoriums équipés d'un système de traitement des fumées à « petit conteneur », l'exploitant a indiqué que le nettoyage du filtre était réalisé tous les 12 jours en moyenne. L'évacuation des fûts de stockage est réalisée juste après le nettoyage du filtre ou lors du nettoyage suivant en fonction du remplissage du fût.

Au cours de ces opérations, l'opérateur doit porter un masque FFP3, mais, dans la pratique, c'est rarement le cas.

Les différentes voies d'exposition de l'opérateur aux rayonnements ionisants sont les suivantes :

- exposition externe par irradiation ;
- exposition interne par inhalation ;
- exposition interne par ingestion par inadvertance.

L'IRSN ne retient pas l'exposition à l'iode par voie transcutanée (passage transdermique lors de la manipulation de substances radioactives lipophiles) qui pourrait avoir lieu lors de la manipulation du réactif contaminé par ce radionucléide. En effet, l'iode étant fixé au charbon actif contenu dans le réactif, l'IRSN considère que le passage transdermique de l'iode est négligeable, voire nul.

Pour évaluer l'exposition du personnel en charge de ces opérations, l'IRSN retient les quatre scénarios enveloppes suivants :

- scénario 1 : nettoyage du filtre juste après la crémation de la dépouille radioactive et évacuation immédiate du fût de stockage ;
- scénario 2 : nettoyage du filtre juste après la crémation de la dépouille radioactive et évacuation du fût de stockage 12 jours après le nettoyage ;
- scénario 3 : nettoyage du filtre 12 jours après la crémation de la dépouille radioactive et évacuation immédiate du fût de stockage ;
- scénario 4 : nettoyage du filtre 12 jours après la crémation de la dépouille radioactive et évacuation du fût de stockage 12 jours après le nettoyage.

#### **4.2.3.3. Voies d'exposition pour le traitement des fumées – technologie « grand conteneur »**

L'opérateur du crématorium n'intervient pas sur l'installation de traitement des fumées. Seule l'exposition externe est donc à retenir pour l'opérateur de crématorium. Les opérations de maintenance (incluant la vidange de la trémie) sont réalisées par un prestataire externe. L'agent de maintenance (prestataire) réalise les opérations suivantes :

- l'injection de réactif neuf ;
- la vidange des trémies et mise en fûts du réactif usagé ainsi que le nettoyage des bougies ;
- le remplacement des bougies cassées.

L'opérateur doit porter un masque FFP3 et des gants, et un aspirateur est positionné au niveau du fût à remplir lors de la vidange des trémies.

Les différentes voies d'exposition de l'opérateur aux rayonnements ionisants sont les suivantes :

- exposition externe par irradiation ;
- exposition interne par inhalation ;
- exposition interne par ingestion par inadvertance.

Comme pour les opérations sur l'installation de traitement des fumées avec la technologie « petit conteneur », et pour les mêmes raisons, l'IRSN ne retient pas l'exposition à l'iode par voie transcutanée.

Quatre scénarios enveloppes (maintenance tous les 6 mois) sont envisageables :

- scénario 1 : la crémation de la dépouille radioactive se fait juste après une maintenance du grand conteneur et, lors de la maintenance suivante (6 mois après), les 2 fûts contenant le réactif contaminé sont évacués immédiatement ;
- scénario 2 : la crémation de la dépouille radioactive se fait juste après une maintenance du grand conteneur et, lors de la maintenance suivante (6 mois après), les 2 fûts contenant le réactif contaminé sont entreposés pour les 6 mois suivants ;
- scénario 3 : la crémation de la dépouille radioactive se fait juste avant la maintenance du grand conteneur et les 2 fûts contenant le réactif contaminé sont évacués immédiatement ;
- scénario 4 : la crémation de la dépouille radioactive se fait juste avant la maintenance du grand conteneur et les 2 fûts contenant le réactif contaminé sont entreposés pour les 6 mois.

#### **4.2.3.4. Voies d'exposition des autres personnels de crématorium**

Les locaux administratifs et de repos sont situés hors des zones de manipulation des cendres, de traitement des fumées et de l'entreposage des fûts. Ils peuvent toutefois y être accolés. De même, ils peuvent être accolés à la pièce où sont entreposées les urnes non restituées immédiatement.

Quelle que soit la source de rayonnements à considérer, la voie d'exposition est uniquement l'exposition externe par irradiation.

### **4.3. Résultats et recommandations**

**Les résultats présentés par l'IRSN correspondent à la crémation d'une seule dépouille radioactive et sont exprimés en  $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$  (excepté pour le stockage de l'urne pour laquelle l'exposition est en  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ ). Les résultats exhaustifs des évaluations dosimétriques sont présentés dans les annexes 5 à 7 au présent rapport. L'IRSN rappelle que les hypothèses ayant conduit à ces conclusions sont très conservatives, (cf. paragraphe 4.2.1 ci-avant). Dans la majorité des cas, les décroissances biologique et physique devraient contribuer à réduire significativement l'exposition des salariés des crématoriums et les doses générées devraient être très faibles<sup>32</sup> selon le radionucléide administré.**

**A l'exception de l'<sup>225</sup>Ac, du <sup>177</sup>Lu, du <sup>67</sup>Cu, du <sup>223</sup>Ra, de l'<sup>111</sup>In (thérapie) et de l'<sup>131</sup>I dans certaines configurations, l'exposition des salariés des crématoriums (y compris l'opérateur en charge de la crémation) et de l'agent de maintenance est inférieure à 300  $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$  (critère de dose retenu pour le personnel funéraire effectuant les soins au corps et le transport avant mise en bière – cf. partie 3.3.1 ci-avant) – quel que soit le radionucléide administré.**

En tenant compte de la protection due aux murs des différents locaux et des équipements de protection collective et individuelle dont peuvent bénéficier les travailleurs concernés, l'exposition de ces derniers est plus faible que celle présentée en annexes 5 à 7 au présent rapport. La prise en compte de ces dispositions de protection permet de classer les radionucléides selon le tableau 11 ci-après.

<sup>32</sup> Comme défini dans le rapport UNSCEAR 2012 [18], table 1

**Tableau 11 : Répartition des radionucléides en fonction de leur enjeu de radioprotection des travailleurs des crématoriums**

	Radionucléides concernés	Commentaires : configurations défavorables (ou autre information)
<i>Radionucléides pour lesquels la dose peut excéder 1 mSv/crémation</i>	$^{131}\text{I}$ (MIBG) (8 GBq)	<p><u>Opérations concernées :</u></p> <p>Dans les cas suivants, y compris pour une crémation ayant lieu 6 jours après le décès :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vidange des trémies (filtre « grand conteneur ») juste après la crémation ;</li> <li>• bureau du personnel administratif situé juste à côté de l'installation de traitement des fumées ou de l'entreposage des fûts contenant le réactif contaminé.</li> </ul>
<i>Radionucléides pour lesquels la dose peut être comprise entre 300 <math>\mu\text{Sv}</math>/crémation et 1 mSv/crémation</i>	$^{131}\text{I}$ (traitement thyroïde) (4 GBq)) $^{111}\text{In}$ (thérapie) (7 GBq) $^{225}\text{Ac}$ (15 MBq)	<p><u>Opérations concernées :</u></p> <p>Dans les cas suivants pour <math>^{111}\text{In}</math> et <math>^{131}\text{I}</math>, y compris pour une crémation ayant lieu 6 jours après le décès :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vidange des trémies (filtre « grand conteneur ») juste après la crémation ;</li> <li>• bureau du personnel administratif situé juste à côté de l'installation de traitement des fumées ou de l'entreposage des fûts contenant le réactif contaminé.</li> </ul> <p>Dans le cas suivant pour <math>^{225}\text{Ac}</math>, y compris pour une crémation ayant lieu 6 jours après le décès :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vidange des trémies (filtre « grand conteneur ») juste après la crémation .</li> </ul>
<i>Radionucléides pour lesquels la dose n'excèdera pas 300 <math>\mu\text{Sv}</math>/crémation, même pour une crémation 24 heures après le décès</i>	Tous les autres radionucléides étudiés, ainsi que les autres situations que celles mentionnées préalablement pour $^{225}\text{Ac}$ , $^{111}\text{In}$ et $^{131}\text{I}$	<b>La dépouille pourrait donc être prise en charge sans condition pour une crémation 24 heures après le décès et un crématorium pourrait recevoir plusieurs dépouilles radioactives sur une année.</b>

L'IRSN rappelle qu'il a retenu l'hypothèse très conservatrice selon laquelle l'activité dans la dépouille au moment du décès est égale à l'activité injectée lors du traitement. Or, dans le cas de  $^{131}\text{I}$ , la décroissance biologique (par excrétion) est très rapide lors des 24 premières heures après l'injection<sup>33</sup>. Il est donc peu probable que l'activité dans la dépouille au moment du décès soit aussi élevée que l'activité administrée. De même, dans le cas d'un décès immédiatement après l'injection de  $^{131}\text{I}$  (thyroïde et MIBG), la dépouille ne serait remise immédiatement à la famille pour une crémation sous 24 heures après le décès que sous certaines conditions **Erreur ! Source du r envoi introuvable.** Donc, même dans ce dernier cas, l'activité de la dépouille au moment de la réception du cercueil par le crématorium ne sera pas aussi élevée que l'activité administrée.

Afin de protéger les salariés du crématorium (y compris l'opérateur de crémation) et l'agent de maintenance vis-à-vis de l'exposition aux radionucléides, il est nécessaire de s'assurer que l'agent de maintenance porte correctement et en permanence le masque et que le dispositif de protection collective (aspiration des poussières

<sup>33</sup> L'excrétion de l'iode 131 (MIBG) a lieu majoritairement (environ 50 % de l'activité administrée) lors de la première journée suite à l'administration [11].

par un aspirateur par exemple) est mis en œuvre. Pour l'<sup>225</sup>Ac, l'<sup>111</sup>In et l'<sup>131</sup>I (traitement de la thyroïde et MIBG), la vidange des filtres (quelle que soit la technologie) devrait être réalisée juste avant la crémation de la dépouille radioactive afin d'avoir un temps de décroissance maximal dans le conteneur avant la vidange et le nettoyage suivant. De même, les fûts contenant le réactif contaminé devraient être évacués immédiatement après la crémation.

**Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, l'IRSN recommande que le crématorium soit informé du caractère radioactif de la dépouille afin que les dispositions adéquates (vidange des filtres avant la crémation en particulier) puissent être mises en œuvre pour limiter l'exposition des salariés du crématorium.** Cette information peut être faite à travers la carte de sortie portée par le défunt préconisée ci-avant (paragraphe 2.3). Par ailleurs, cette information et la mise en œuvre de dispositions adéquates (vidange des filtres avant la crémation) permettraient de limiter l'exposition de l'agent de maintenance dans le cas de la crémation d'une dépouille d'un patient traité à l'<sup>131</sup>I, à l'<sup>111</sup>In (thérapie) ou à l'<sup>225</sup>Ac.

Par ailleurs, en 2018, suite aux conclusions du rapport IRSN PRP-HOM/2016-0007, l'ASN, dans sa lettre d'instruction aux divisions territoriales [6], recommandait que le délai entre le traitement au <sup>131</sup>I (MIBG) et la crémation soit de deux semaines. Au vu des résultats de la présente étude, l'IRSN considère que ce délai est raisonnable pour s'assurer que l'exposition des travailleurs intervenant au crématorium soit faible tout en conservant un délai raisonnable pour la famille faisant son deuil. Ce délai, supérieur à la limite légale de 6 jours pour la crémation, nécessite une demande de dérogation auprès de la préfecture.

Toutefois, de manière plus générale, pour l'<sup>131</sup>I (thyroïde et MIBG), l'IRSN recommande d'augmenter, autant que règlementairement possible, et avec l'accord de la famille (par dérogation le cas échéant), le délai entre le décès et la crémation.

De plus, l'IRSN considère que les consignes générales de prévention des risques suivantes, qu'il a relevées lors des visites de crématoriums, concourent également à la radioprotection des travailleurs :

- le port de gants et d'un masque de type FFP3, avec un rappel périodique des règles du port du masque FFP3 ;
- la mise en œuvre de hotte aspirante (ou autre moyen similaire), avec une vérification périodique du bon fonctionnement ;
- le lavage du poste de travail après l'intervention sur l'installation de traitement des fumées (quelle que soit la technologie de l'installation).

En complément de celles-ci, l'IRSN recommande aux exploitants des crématoriums :

- de vidanger le filtre (technologie « petit conteneur ») ou la trémie (technologie « grand conteneur ») avant la crémation si la programmation le permet ;
- de privilégier, dès la vidange du filtre contaminé suivant, l'évacuation immédiate du fût contenant le réactif ;
- à défaut, d'augmenter la distance entre le lieu d'entreposage du réactif contaminé et les autres locaux du crématorium, en particulier les locaux administratifs.

L'IRSN a montré dans la présente étude que, pour la grande majorité des radionucléides, il y a peu d'enjeu de radioprotection pour les travailleurs des crématoriums.

Pour un nombre réduit d'opérations pour certains radionucléides (et uniquement à visée thérapeutique), les doses reçues par les travailleurs des crématoriums sont susceptibles de dépasser 300 µSv/crémation.

Toutefois, il est peu probable que ce niveau de dose soit atteint, pour les raisons suivantes :

- la prise en charge dans un crématorium d'un défunt ayant reçu un traitement de RIV se rencontre rarement (cf. l'étude belge réalisée par l'AFCN [17] qui a montré que, pour 500 dépouilles prises en charge au crématorium, une seule présentait un niveau de radioactivité supérieur au bruit de fond et que, pour ces dépouilles radioactives, le rayonnement détecté provenait principalement des substances radioactives utilisées dans le cadre d'applications diagnostiques) ;
- La majorité des personnes en France choisissent l'inhumation plutôt que la crémation, dans une proportion 60/40 (<https://www.cpfm.fr/panorama-funeraire-france/>). Ainsi, en moyenne 6 dépouilles radioactives sur 10 ne sont pas prises en charge au crématorium ;
- La décroissance biologique et physique entre l'administration et le décès n'a pas été prise en compte dans cette étude : la dose calculée correspond donc à un décès immédiatement après l'administration, ce qui est rarement le cas ;
- la décroissance biologique entre l'administration et le décès est très rapide, et conduit à une réduction importante de l'activité résiduelle dans le corps du patient et par conséquent la dose reçue par les travailleurs des crématoriums ;
- Les opérations conduisant à une dose supérieure à 1 mSv concernent uniquement le traitement à l'<sup>131</sup>I-MIBG, qui est un traitement rare en France.

Même si la situation la plus défavorable en termes de radioprotection des travailleurs des crématorium se produisait, l'application des trois dernières recommandations de la liste formulées par l'IRSN auprès des exploitants des crématorium ci-avant permettrait de réduire drastiquement la dose reçue en dessous de la valeur de 300 µSv.

## CONCLUSION

Dans la continuité des trois rapports rendus précédemment [1]–[3], le présent rapport aborde les problématiques de radioprotection concernant l'utilisation des nouveaux radionucléides en médecine nucléaire pour les travailleurs qui prennent en charge les patients décédés après un acte de médecine nucléaire (dépouilles radioactives).

L'IRSN a réalisé une analyse des recommandations à appliquer lorsque survient le décès d'un patient après un traitement de médecine nucléaire formulées par plusieurs pays d'Europe membres d'HERCA, les Etats-Unis et le Canada. Cette analyse intègre également les recommandations au niveau international (CIPR, AIEA) et au niveau de la Commission européenne. A partir de celle-ci, l'IRSN propose plusieurs recommandations qui pourraient être appliquées en France, notamment un calculateur du délai d'attente après le décès pour prendre en charge le corps et de la durée minimale entre l'administration et le décès permettant de prendre en charge le corps immédiatement après le décès, une carte de sortie et des fiches réflexes pour le personnel funéraire.

Concernant la radioprotection des travailleurs effectuant le transport avant mise en bière et les soins au corps, des estimations de doses et un critère de dose ont permis d'établir la conduite à tenir pour ces deux opérations en fonction des traitements pour quatre nouveaux radionucléides prometteurs ( $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  et  $^{166}\text{Ho}$ ). Les deux premiers, émetteurs alpha, ne requièrent aucune disposition particulière de radioprotection, tandis que des deux autres conduisent à différer de quelques jours la prise en charge du corps, avec un maximum de 5 jours pour le  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE pour les soins au corps. Ces délais n'excèdent toutefois pas les délais réglementaires de prise en charge.

S'agissant des travailleurs de crématoriums, seul un nombre réduit d'opérations pour certains radionucléides (et uniquement à visée thérapeutique) peuvent conduire à des doses supérieures à 300  $\mu\text{Sv}$  par crémation. La rareté de ces configurations ajoutée aux hypothèses très conservatives utilisées dans les calculs conduisent à une probabilité très faible de dépassement de cette valeur. Même si ce cas se produisait, le suivi par le crématorium des recommandations de l'IRSN émises dans la présente étude (notamment concernant le système de filtration) permettraient de réduire drastiquement la dose reçue.

## REMERCIEMENTS

L'IRSN tient à remercier l'ensemble des personnes ayant accepté de partager leurs savoirs et expériences au cours d'échanges particulièrement enrichissants :

L'ensemble des membres du WG MA - WP NM du groupe HERCA ayant permis le recueil des recommandations de radioprotection en cas de décès et crémation d'un patient de médecine nucléaire et ayant effectué des relectures de la synthèse de ces recommandations réalisée par l'IRSN ;

Les personnes du CHU visité, confrontés au décès d'un patient de médecine nucléaire thérapeutique ( $^{177}\text{Lu}$ ) ;

Les personnes du service de radioprotection et du service prenant en charge les patients décédés du CLCC visité, confrontés au décès d'un patient de médecine nucléaire diagnostique ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) ;

La PCR du service de médecine nucléaire du CHU confronté à deux cas de décès en médecine nucléaire thérapeutique ( $^{131}\text{I}$  et  $^{177}\text{Lu}$ ) ;

Le personnel du crématorium de Montfermeil visité, dont les prestataires externes de maintenance, ainsi que les personnes de la société funéraire OGF, avec qui l'IRSN a été en contact pour cette visite.

## GLOSSAIRE

AFCN	Agence fédérale de contrôle nucléaire
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ASCO	American Society of Clinical Oncology (Société américaine d'oncologie clinique)
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
CAP	charbon actif en poudre
CHU	centre hospitalier universitaire
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CLCC	centre de lutte contre le cancer
CPFM	Confédération des professionnels du funéraire et de la marbrerie
CRP	conseiller en radioprotection
DaRT	Diffusing Alpha-emitters Radiation Therapy
DASRI	déchets d'activités de soins à risques infectieux
DGS	Direction générale de la santé
DIS	Direction des rayonnements ionisants et de la santé
DMIA	dispositif médical implantable actif
EPI	équipement de protection individuelle
GT	groupe de travail
HERCA	Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities (réseau des autorités européennes compétentes de radioprotection)
IML	Institut médico-légal de Paris
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
LA	limite d'autorisation
MIBG	métaiodobenzylguanidine
MRP	médicament radiopharmaceutique
PSMA	prostate-specific membrane antigen
RIV	radiothérapie interne vectorisée
SFMN	Société française de médecine nucléaire et imagerie moléculaire
TNE	tumeurs neuro-endocrines
WGMA	Working Group Medical Applications
WP NM	Work Package Nuclear Medicine

## REFERENCES

- [1] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Nouveaux radionucléides en médecine nucléaire - Première partie : étude bibliographique des nouveaux radionucléides et perspectives d'utilisation clinique en France - Rapport IRSN n° 2021-00083 », févr. 2021. [https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_Rapport-2021-00083-nouveaux-radionucleides-medecine.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-2021-00083-nouveaux-radionucleides-medecine.pdf)
- [2] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Nouveaux radionucléides en médecine nucléaire - Deuxième partie : Radioprotection des patients et de leur entourage - Rapport IRSN n° 2021-00484 », juin 2021. [https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_Rapport-2021-00484-nouveaux-radionucleides-medecine.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-2021-00484-nouveaux-radionucleides-medecine.pdf)
- [3] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Nouveaux radionucléides en médecine nucléaire - Troisième partie : Radioprotection des travailleurs dans les établissements de santé, des transporteurs sanitaires et des travailleurs dans les systèmes d'assainissement - Rapport IRSN n° 2021-00753 », oct. 2021. [https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_Rapport-2021-00753-nouveaux-radionucleides-medecine.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-2021-00753-nouveaux-radionucleides-medecine.pdf)
- [4] American Society of Clinical Oncology, « Targeted Radiotherapy Offers New Treatment Option for Patients Previously Treated for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer », 3 juin 2021. <https://www.asco.org/about-asco/press-center/news-releases/targeted-radiotherapy-offers-new-treatment-option-patients>
- [5] Autorité de sûreté nucléaire, « Lettre CODEP-DIS-2020-013841 - Demande d'expertise concernant l'utilisation de nouveaux radionucléides en médecine nucléaire pour des actes à visée diagnostique, théranostique ou thérapeutique. », 21 avril 2020.
- [6] « Instruction ASN CODEP-DIS-2018-043540, Recommandations concernant la prise en charge du corps de patients décédés après un acte de médecine nucléaire ou de curiethérapie par implants permanents », 4 décembre 2018.
- [7] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Décès de patients traités en médecine nucléaire ou curiethérapie par implants permanents - Estimation de la dose susceptible d'être reçue par les personnes en charge d'une dépouille radioactive - Rapport PRP-HOM/ n°2016-00008 ».
- [8] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Décès de patients traités en médecine nucléaire ou curiethérapie par implants permanents - Estimation de la dose susceptible d'être reçue par le personnel de crématorium et la population - Rapport PRP-HOM/ n°2016-0007 ».
- [9] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Conduite à tenir devant une dépouille humaine après un traitement de médecine nucléaire ou de curiethérapie par implants permanents - Avis IRSN/2017-000174 ». 24 mai 2017.
- [10] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, « Demande d'expertise concernant l'utilisation de nouveaux radionucléides en médecine nucléaire pour des actes à visées diagnostique, théranostique ou thérapeutique - Avis IRSN n° 2021-00016 ». 1 février 2021. <https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/2021/Documents/fevrier/Avis-IRSN-2021-00016.pdf>
- [11] European Commission, « Radiation Protection Following Iodine-131 Therapy (Exposures due to Out-patients or Discharged In-patients). Radiation Protection 97 », European Commission, 97, 1999.
- [12] International Commission on Radiological Protection, « Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94 », *Ann ICRP*, vol. 34, n° 2, Art. n° 2, 2004, doi: 10.1016/j.icrp.2004.08.001.
- [13] International Atomic Energy Agency, « Release of Patients After Radionuclide Therapy. Safety Reports Series No. 63 », IAEA, Text 63, 2009. Consulté le: 7 mai 2021. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/pub1417\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/pub1417_web.pdf)

- [14] J.-C. Nénot, J. Brenot, D. Laurier, A. Rannou, et D. Thierry, « Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique - Publication 103 de la CIPR », 2009. [https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/CIPR\\_103.pdf](https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/CIPR_103.pdf)
- [15] Heads of the European Radiological protection Competent Authorities, « 131I therapy: Patient release criteria », HERCA, 2010.
- [16] « Rapport du groupe de travail sur la réévaluation des recommandations sur les conditions d'utilisation du lutétium 177 en médecine nucléaire ». <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/L-ASN-met-a-jour-ses-conditions-d-autorisation-pour-la-detention-et-l-utilisation-du-lutetium-177>
- [17] Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire, « Fiche Info Crématoriums : Dépouilles radioactives ». mai 2011. <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-fiche-info-crematorium-depouilles-radioactives.pdf>
- [18] « Rapport UNSCEAR 2012 - SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION - Report to the General Assembly with Scientific Annexes », 2015. [https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR\\_2012\\_Report-CORR.pdf](https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2012_Report-CORR.pdf)
- [19] M. Abuqbeitah, M. Demir, L. Uslu-Beşli, N. Yeyin, et K. Sönmezoglu, « Blood clearance and occupational exposure for 177Lu-DOTATATE compared to 177Lu-PSMA radionuclide therapy », *Radiat Environ Biophys*, vol. 57, n° 1, p. 55-61, mars 2018, doi: 10.1007/s00411-017-0721-6.
- [20] M. Demir *et al.*, « Evaluation of radiation safety in (177)Lu-PSMA therapy and development of outpatient treatment protocol », *J Radiol Prot*, vol. 36, n° 2, p. 269-278, juin 2016, doi: 10.1088/0952-4746/36/2/269.
- [21] B. Serencsits, B. P. Chu, N. Pandit-Taskar, M. R. McDevitt, et L. T. Dauer, « Radiation Safety Considerations and Clinical Advantages of  $\alpha$ -Emitting Therapy Radionuclides », *J Nucl Med Technol*, vol. 50, n° 1, p. 10-16, mars 2022, doi: 10.2967/jnmt.121.262294.
- [22] J. F. Prince *et al.*, « Radiation emission from patients treated with holmium-166 radioembolization », *J Vasc Interv Radiol*, vol. 25, n° 12, Art. n° 12, déc. 2014, doi: 10.1016/j.jvir.2014.09.003.
- [23] L. T. Dauer *et al.*, « Radiation safety considerations for the use of  $^{223}\text{RaCl}_2$  DE in men with castration-resistant prostate cancer », *Health Phys*, vol. 106, n° 4, p. 494-504, avr. 2014, doi: 10.1097/HP.0b013e3182a82b37.
- [24] C. Wanke, J. Pinkert, B. Szermerski, et L. Geworski, « Assessment of the radiation exposure of relatives and caregivers of patients treated with Ra-223 - Results of a German multicenter study », *Z Med Phys*, vol. 31, n° 1, p. 58-64, févr. 2021, doi: 10.1016/j.zemedi.2020.09.002.
- [25] W. H. Bakker, W. a. P. Breeman, D. J. Kwekkeboom, L. C. De Jong, et E. P. Krenning, « Practical aspects of peptide receptor radionuclide therapy with [177Lu][DOTA0, Tyr3]octreotate », *Q J Nucl Med Mol Imaging*, vol. 50, n° 4, p. 265-271, déc. 2006.
- [26] P. J. Calais et J. H. Turner, « Radiation safety of outpatient 177Lu-octreotate radiopeptide therapy of neuroendocrine tumors », *Ann Nucl Med*, vol. 28, n° 6, p. 531-539, juill. 2014, doi: 10.1007/s12149-014-0843-8.
- [27] Advanced Accelerator Applications, « Résumé des caractéristiques du produit « LUTATHERA 370 MBq/mL, solution pour perfusion », ANSM ». 2015.
- [28] Fernandez, « Ensuring Safe & Effective Delivery of Lutetium-177 Dotatate Therapy | Journal of Nuclear Medicine », 2015. [https://jnm.snmjournals.org/content/56/supplement\\_3/479](https://jnm.snmjournals.org/content/56/supplement_3/479)
- [29] J. Kurth, B. J. Krause, S. M. Schwarzenböck, L. Stegger, M. Schäfers, et K. Rahbar, « External radiation exposure, excretion, and effective half-life in 177Lu-PSMA-targeted therapies », *EJNMMI Res*, vol. 8, n° 1, p. 32, avr. 2018, doi: 10.1186/s13550-018-0386-4.

## SOMMAIRE DES ANNEXES

<b>Annexe 1.</b>	<b>Références : Recommandations internationales liées à la radioprotection en cas de décès de patients ayant bénéficié d'un acte de médecine nucléaire et leur crémation.....</b>	<b>51</b>
<b>Annexe 2.</b>	<b>Recommandations de l'AFCN (Belgique) pour le personnel des crematoriums .....</b>	<b>53</b>
<b>Annexe 3.</b>	<b>Tableaux de données sur le transport avant la mise en bière et les soins au corps</b>	<b>54</b>
<b>Annexe 4.</b>	<b>Etapas d'une crémation et gestion du traitement des fumées .....</b>	<b>58</b>
<b>Annexe 5.</b>	<b>Crémation de dépouilles radioactives traitées par du samarium 153, du radium 223 ou de l'actinium 225 fixés dans les os .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 6.</b>	<b>Crémation de dépouilles radioactives – Technologie « petit conteneur ».....</b>	<b>63</b>
<b>Annexe 7.</b>	<b>Crémation de dépouilles radioactives – Technologie « grand conteneur » .....</b>	<b>72</b>

## ANNEXE 1. REFERENCES : RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES LIEES A LA RADIOPROTECTION EN CAS DE DECES DE PATIENTS AYANT BENEFICIE D'UN ACTE DE MEDECINE NUCLEAIRE ET LEUR CREMATION

### Belgique

- Calculateur de la période de précaution  
[https://fanc.fgov.be/language\\_selection/system/files/20200818-calculator-dynamic.xlsx](https://fanc.fgov.be/language_selection/system/files/20200818-calculator-dynamic.xlsx)
- « Dépouilles radioactives »  
<https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/professions-medicales/medecine-nucleaire/initiatives-de-lafcn/depouilles-radioactives>
- « Pratique médicale et dépouilles radioactives »  
<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-pratique-medecale-depouilles-radioactives.pdf>
- « Fiche info. Hôpitaux. Dépouilles radioactives »  
<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-fiche-info-hopitaux.pdf>
- « Recommandations pour le personnel hospitalier en cas de dépouilles radioactives »  
<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-recommandations-depouilles-radioactives.pdf>
- « Fiche info. Crématoriums. Dépouilles radioactives »  
<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-fiche-info-crematorium-depouilles-radioactives.pdf>
- « Recommandations pour le personnel des crématoriums en cas de manipulation de dépouilles radioactive »  
<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-recommandations-crematoriums-depouilles-radioactives.pdf>

### Allemagne

Radiation protection in medicine, Directive on the Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation:

[http://www.euterp.eu/documents/pages/rl\\_strlschv\\_strlschmed\\_en.pdf](http://www.euterp.eu/documents/pages/rl_strlschv_strlschmed_en.pdf)

### Lettonie

Guidelines for release of patients from a medical institution of nuclear medicine (diagnostic and therapeutic) and recommendations regarding radiation safety:

<https://www.vvd.gov.lv/lv/media/1069/download>

### Lithuanie

Lithuanian Hygienic Standard HN 77: 2015 Radiation Protection in Nuclear Medicine:

<https://www.esavadai.lt/dokumentai/4408-hn-772015-radiacine-sauga-branduolineje-medicinoje-galioja-nuo-2016-05-01/>

### Pays-Bas

- Guidelines on the therapeutic use of radionuclides:
- <https://www.autoriteitnvs.nl/binaries/anvs/documenten/rapporten/2017/11/13/aanbevelingen-radionuclidetherapie-2005/aanbevelingen-radionuclidetherapie-2005.pdf>

- Sera remplacé par:  
[https://richtlijndatabase.nl/richtlijn/therapeutische\\_doses\\_radionucliden/startpagina\\_-\\_therapeutische\\_dosis\\_radionucliden.html](https://richtlijndatabase.nl/richtlijn/therapeutische_doses_radionucliden/startpagina_-_therapeutische_dosis_radionucliden.html)

### Pologne

- Regulation of 3 April 2017 on the publication of the uniform text of the Regulation of the Minister of Health on safe conditions use of ionizing radiation for all types of medical exposure / Article 40 page 18
- Regulation on cases where activities related to exposure to ionizing radiation does not require a permit, notification or authorization, and cases in which it may be performed on the basis of a notification / Annex 2 page 15

### Suisse

- « Directive Radiothérapie métabolique » :  
[https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/str-wegleitungen/personenschutz/radionuklidtherapie.pdf.download.pdf/Strahlenschutz\\_Wegleitung\\_Radionuklidtherapie\\_FR.pdf](https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/str-wegleitungen/personenschutz/radionuklidtherapie.pdf.download.pdf/Strahlenschutz_Wegleitung_Radionuklidtherapie_FR.pdf)
- « Directive L-10-03. Protection du personnel de pathologie et de médecine légale contre les dangers du rayonnement ionisant »  
<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/fanm/weisungen-merkblaetter/in-kraft/l-10-03.pdf.download.pdf/L-10-03.pdf>
- « Ordonnance du DFI sur l'utilisation des matières radioactives (OURM) »  
<https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2017/509/20180130/fr/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2017-509-20180130-fr-pdf-a.pdf>

### Etats-Unis

Regulatory Guide 8.39 Revision 1, "Release of Patients Administered Radioactive Material", U.S. Nuclear Regulatory Commission, avril 2020

<https://www.nrc.gov/docs/ML1923/ML19232A081.pdf>

### Canada

- REGDOC-2.7.3, "Lignes directrices sur la radioprotection pour la manipulation sécuritaire des dépouilles », Commission canadienne de sûreté nucléaire, juin 2018  
<https://www.cnsccsn.gc.ca/fra/acts-and-regulations/regulatory-documents/published/html/regdoc2-7-3/index.cfm#AddInfo>
- REGDOC-1.6.1 version 2, « Guide de présentation d'une demande de permis : Substances nucléaires et appareils à rayonnement », Commission canadienne de sûreté nucléaire, avril 2017  
<https://nuclearsafety.gc.ca/fra/acts-and-regulations/regulatory-documents/published/html/regdoc1-6-1/index.cfm>
- « Normes Médecine nucléaire. NORMES de pratique SPECIFIQUES », Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et en électrophysiologie médicale du Québec, mars 2015  
[https://www.otimroepmq.ca/wp-content/uploads/2015/07/MN\\_mars2015.pdf](https://www.otimroepmq.ca/wp-content/uploads/2015/07/MN_mars2015.pdf)

## ANNEXE 2. RECOMMANDATIONS DE L'AFCN (BELGIQUE) POUR LE PERSONNEL DES CREMATORIUMS

Les recommandations ci-après, parues en mai 2011, sont présentes via le lien :

<https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2021-10-07-recommandations-crematoriums-depouilles-radioactives.pdf>

### RECOMMANDATIONS POUR LE PERSONNEL DES CRÉMATORIUMS EN CAS DE MANIPULATION DE DÉPOUILLES RADIOACTIVES

#### 1. Principes généraux

Si une personne décède peu de temps après l'administration d'une substance radioactive à des fins thérapeutiques ou palliatives, il se peut qu'au moment de la crémation la dépouille de la personne soit toujours radioactive et dans ce cas des mesures de précaution devront être prises afin de prévenir l'inhalation et l'ingestion des particules radioactives ou d'être irradié.

Pour chaque demande d'incinération d'une dépouille radioactive, l'AFCN élaborera une proposition en concertation avec la famille, en tenant compte tout d'abord des risques potentiels pour les travailleurs des crématoriums. Les frais éventuels imputables aux mesures complémentaires liées à la radioprotection pourraient être facturés à cette même famille.

Si une dépouille est toujours radioactive lors de la demande d'incinération (décédée pendant la période de précaution, qui est typique pour chaque application), cette incinération, si elle peut être permise, sera supervisée et encadrée par un expert en radioprotection qui contrôlera toutes phases de la crémation (post crémation incluse) et informera des mesures particulières à prendre, y compris concernant les cendres du défunt.

#### 2. Résultat des études de l'AFCN pour évaluer le risque radiologique pour le personnel des crématoriums

- L'étude d'orientation réalisée auprès de plusieurs crématoires n'a révélé aucun risque radiologique dans les zones considérées comme potentiellement à risque, à savoir sur les sols et les surfaces de travail dans les crématoriums, autour et dans les incinérateurs ainsi que dans les airs de dispersion des cendres ou dans les colombaires. Seuls les granulés de charbon actif usagés présentaient parfois des taux de radioactivité supérieurs au bruit de fond, signature d'une radioactivité non-naturelle.
- L'étude systématique réalisée à la demande de l'AFCN par AIB Vinçotte Controlatom sur une période de 6 mois dans le crématorium à Lochristi a porté sur plus de 3380 incinérations. On a constaté que 1/500 dépouilles présentaient un taux de radioactivité supérieure au bruit de fond. Aucune contamination mesurable des lieux de travail n'avait été observée, ni une quelconque exposition significative au rayonnement ionisant. Ces observations sont liées à l'application systématique des mesures de bonne pratique (voir en bas) par le personnel de cette installation.
- Suivi de décès problématiques: lors de crémations contrôlées opérée sur quelques patients décédés avant la fin de la période de précaution, on a démontré que si les règles de bonne pratique étaient appliquées par le personnel, et moyennant des interventions actives de spécialistes en radioprotection dans certaines de ces cas, la protection des travailleurs pouvait être garantie.

Règles générales de bonne pratique pour le personnel des crématoriums :

- 1 Portez toujours des chaussures imperméables ;
- 2 Portez de préférence toujours des vêtements à manches longues, ainsi qu'un pantalon long. N'emportez pas vos vêtements et objets personnels dans la zone technique ;
- 3 Portez toujours un masque devant la bouche (de préférence un équipement de rétention P3) ;
- 4 Lavez-vous toujours convenablement les mains en quittant la zone technique ;
- 5 Manipulez les cendres avec soin et précision et en portant des gants imperméables (ex. pour transférer les cendres dans l'urne) ;
- 6 Brossez le four le mieux possible après chaque crémation pour éviter toute contamination croisée potentielle avec les résidus de crémations antérieures ;
- 7 Evitez/limitez la dispersion des cendres lors du broyage des résidus osseux ;
- 8 Veillez toujours à la propreté des surfaces de travail et, en règle générale, de la zone technique. Essuyez systématiquement et immédiatement les traces de cendres à l'aide d'un aspirateur ou d'un chiffon humide ;
- 9 Injectez lors de chaque crémation une quantité suffisante de charbon actif (ex. 0,5 kg) dans les gaz de fumée pour réduire le plus possible la propagation des substances radioactives gazeuses dans l'environnement ;
- 10 Conservez en lieu sûr les récipients contenant les pellets de charbon actif utilisés : de préférence dans un local isolé par un mur plein. Si ce n'est pas possible, conservez-les à une certaine distance (plusieurs mètres) des endroits où le personnel est fréquemment présent ;
- 11 Ne fumez pas, ne mangez pas et ne buvez pas dans la zone technique. Lavez-vous toujours convenablement les mains en la quittant.

**AFCN**  
agence fédérale de contrôle nucléaire

#### CONTACT

Si vous avez des questions, si vous souhaitez transmettre des informations ou signaler un décès à risque, vous pouvez contacter l'AFCN au +32 (0)2 289 21 11

## ANNEXE 3. TABLEAUX DE DONNEES SUR LE TRANSPORT AVANT LA MISE EN BIÈRE ET LES SOINS AU CORPS

*Tableau 12 : Constantes de débit d'équivalent de dose des radionucléides*

Radionucléide	Forme physique ou pharmaceutique	Publication	Activité (MBq)	Distance (m)	Débit d'équivalent de dose ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Débit d'équivalent de dose à 1 m pour 1 GBq ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Commentaire
<sup>177</sup> Lu	[ <sup>177</sup> Lu][DOTA <sup>0</sup> , Tyr <sup>3</sup> ] octreotate (Lutathera <sup>®</sup> )	Abuqbeith 2018 [19]	5500	1	45	<u>8,2</u>	Valeur maximale
	PSMA-617	Demir 2016[20], repris par Abuqbeith 2018[19]	7400	1	52,5	<u>7,1</u>	Valeur maximale
<sup>225</sup> Ac	Lintuzumab*	Serencsits 2022[21]	3	1	0,3	<u>100</u>	Valeur moyenne
<sup>166</sup> Ho	Microsphères (QuiremSphères)	Prince 2014[22]	2760	1	19	<u>6,9</u>	Valeur maximale
<sup>223</sup> Ra	Métastases osseuses (Xofigo)	Dauer 2014[23]	-	-	-	<u>100</u>	Valeur maximale
		Wanke 2021[24]	5,5	1	0,21	<u>37,9</u>	Valeur maximale
		Serencsits 2022[21]	4,8	1	0,2	<u>41,6</u>	Valeur médiane

Valeurs soulignées : valeurs retenues

\*A défaut d'avoir des débits de dose pour le vecteur PSMA couplé à l'actinium-225, il a été choisi d'utiliser le débit de dose du Lintuzumab car des mesures obtenues à partir de patients injectés n'ont été trouvées dans la littérature que pour ce vecteur

**Tableau 13 : Période effective des médicaments radiopharmaceutiques retenue**

Radionucléide	Type de traitement	Publication	Données : période effective / excrétion	Période effective retenue (j)
<sup>166</sup> Ho	Microsphères (QuiemSpheres)	/	Pas d'élimination biologique considérée. La période effective est donc considérée égale à la période physique	1,1
<sup>223</sup> Ac	PSMA	/	Aucune donnée trouvée dans la littérature, la période effective a donc été considérée de manière conservative comme égale à la période physique	10
<sup>177</sup> Lu	Tumeurs de l'intestin ([ <sup>177</sup> Lu][DOTA <sup>0</sup> , Tyr <sup>3</sup> ] octreotate)	Bakker 2006[25]	Au maximum 24 µSv/h à 1 m du patient à 24 h, 7,5 µSv/h en moyenne	1,0
		Calais 2014[26]	46 % excrété en 4 heures	
		RCP 2015[27]	67 % éliminé dans les urines dans les 24 heures et jusqu'à 80 % sont éliminé dans les 48 heures.	
	Fernandez 2015[28]	7,8 µSv/h en moyenne à 1 m du patient à 24 h		
	PSMA	Kurth 2018[29]	Période effective à temps long égale à 41 ± 9 heures. La valeur haute, à savoir 41+9 heures (i.e. 2,1 jours) a été retenue	2,1
<sup>223</sup> Ra	Chlorure	/	Dans le rapport PRP-HOM/2016-00008, la période effective a été considérée de manière conservative comme égale à la période physique	11,4

**Tableau 14 : Débit d'équivalent de dose pour l'opérateur prenant en charge (à 0,5 m) la dépouille contenant la totalité de l'activité administrée : cas où les opérations peuvent être réalisées sans délai**

Radionucléide	Forme physique ou pharmaceutique	Application	Activité max administrée (MBq)	Débit d'équivalent de dose à 1 m par GBq * (µSv/h)	Débit d'équivalent de dose pour l'opérateur à 0,5 m (µSv/h)
<sup>223</sup> Ra	chlorure (Xofigo®)	métastases osseuses	6	100	2,4
<sup>225</sup> Ac	PSMA	Cancers de la prostate métastatiques	15	100	6,0

\* Valeurs déterminées dans le tableau 12 ci-avant

**Tableau 15 : Débit d'équivalent de dose pour l'opérateur prenant en charge (à 0,5 m) la dépouille contenant la totalité de l'activité administrée : cas où les opérations funéraires nécessitent un délai avant d'être réalisées**

Radionucléide	Forme physique ou pharmaceutique	Application	Activité max administrée (MBq)	Débit d'équivalent de dose à 1 m par GBq* (μSv/h)	Débit d'équivalent de dose pour l'opérateur à 0,5 m (μSv/h)
<sup>177</sup> Lu	[ <sup>177</sup> Lu][DOTA0, Tyr3] octreotate (Lutathera®)	tumeurs de l'intestin	7 400	8,2	243
	PSMA	Cancers métastatiques de la prostate	7 400	7,1	210
<sup>166</sup> Ho	Microsphères (QuiremSpheres)	thérapie de cancers du foie (radio-embolisation)	12 000	6,9	331

\* Valeurs déterminées dans le tableau 12

**Tableau 16 : Durée minimale nécessaire pour réaliser les opérations funéraires en cas de décès immédiatement après administration des radionucléides**

Radionucléide	Forme physique ou pharmaceutique	Application	Hospitalisation	Activité max administrée (MBq)	Durée de décroissance nécessaire (jours)	
					avant transport	avant soins au corps
<sup>177</sup> Lu	[ <sup>177</sup> Lu][DOTA0, Tyr3] octreotate (Lutathera®)	tumeurs de l'intestin	<b>oui</b>	7 400	<b>0</b>	<b>5</b>
	PSMA	cancers métastatiques de la prostate	<b>pas systématique</b>	7 400	<b>0</b>	<b>4</b>
<sup>166</sup> Ho	microsphères (QuiremSpheres)	thérapie de cancers du foie (radio-embolisation)	<b>pas systématique</b>	12 000	<b>1</b>	<b>2</b>

**Tableau 17 : Durée minimale entre l'administration du MRP et le décès permettant la réalisation des opérations funéraires sans délai après le décès**

Radionucléide	Forme physique ou pharmaceutique	Application	Hospitalisation	Activité max administrée (MBq)	Délai entre l'administration et le décès permettant la réalisation des opérations funéraires sans délai après le décès (jours)
<sup>177</sup> Lu	[ <sup>177</sup> Lu][DOTA0, Tyr3] octreotate (Lutathera®)	tumeurs de l'intestin	<b>oui</b>	7400	0,7
	PSMA	cancers métastatiques de la prostate	<b>pas systématique</b>	7 400	1,0
<sup>166</sup> Ho	Microsphères (QuiremSpheres)	thérapie de cancers du foie (radio-embolisation)	<b>pas systématique</b>	12 000	1,3

## ANNEXE 4. ETAPES D'UNE CREMATION ET GESTION DU TRAITEMENT DES FUMÉES

### A4.1. Déroulement d'une crémation

Les différentes étapes d'une crémation sont les suivantes :

- 1) la réception du cercueil : vérification de la plaque d'identification, des scellés du cercueil et de l'autorisation de crémation, pose de l'estampille sur le cercueil (selon les crématoriums) et pose des fleurs pour la cérémonie ;
- 2) la crémation ;
- 3) après la crémation, l'opérateur ramène le calcius (morceaux d'os non réduits en poudre) ainsi que les parties métalliques jusqu'à un cendrier ;
- 4) le calcius est légèrement refroidi à l'air, les gaz et poussières étant renvoyées vers la ligne de filtration puis l'extérieur. Le calcius refroidi est ensuite transvasé dans le broyeur (ou pulvérisateur) ;
- 5) le broyage (ou pulvérisation) se fait par itération (2 technologies de broyeurs) ;  
A chaque itération, l'opérateur récupère d'un côté les cendres et de l'autre les parties métalliques (grâce à un aimant), tandis que le calcius reste dans le broyeur. Ces opérations sont réalisées autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que la totalité du calcius soit broyée.  
Sur certains crématoriums, les poussières (calcius) issues du broyeur/pulvérisateur (qui sont très pulvérulentes) sont recueillies dans un filtre spécifique qui les envoie dans une trémie. La trémie est vidée toutes les 3 à 4 semaines ;
- 6) les cendres sont ensuite totalement refroidies à température ambiante, soit par étalement sur une table en marbre, soit dans un refroidisseur en dépression ;
- 7) après leur refroidissement, les cendres sont transvasées dans un sac en plastique qui sera placé dans l'urne cinéraire ;
- 8) le sac est fermé par des agrafes, placé dans l'urne qui est scellée par un joint silicone puis nettoyée avec du papier.

Les étapes 3 à 8 sont réalisées dans une zone de travail très poussiéreuse malgré la ventilation au niveau des postes de travail, les poussières étant essentiellement dues à l'étape de broyage/pulvérisation.

Dans certains crématoriums, les opérateurs utilisent un aspirateur dédié pour le nettoyage des appareils et du sol proche du four. Le sac de l'aspirateur est incinéré quotidiennement dans le four. Dans la majorité des crématoriums, le ménage est assuré par des industriels avec transfert des particules de cendres dans le circuit déchets conventionnel.

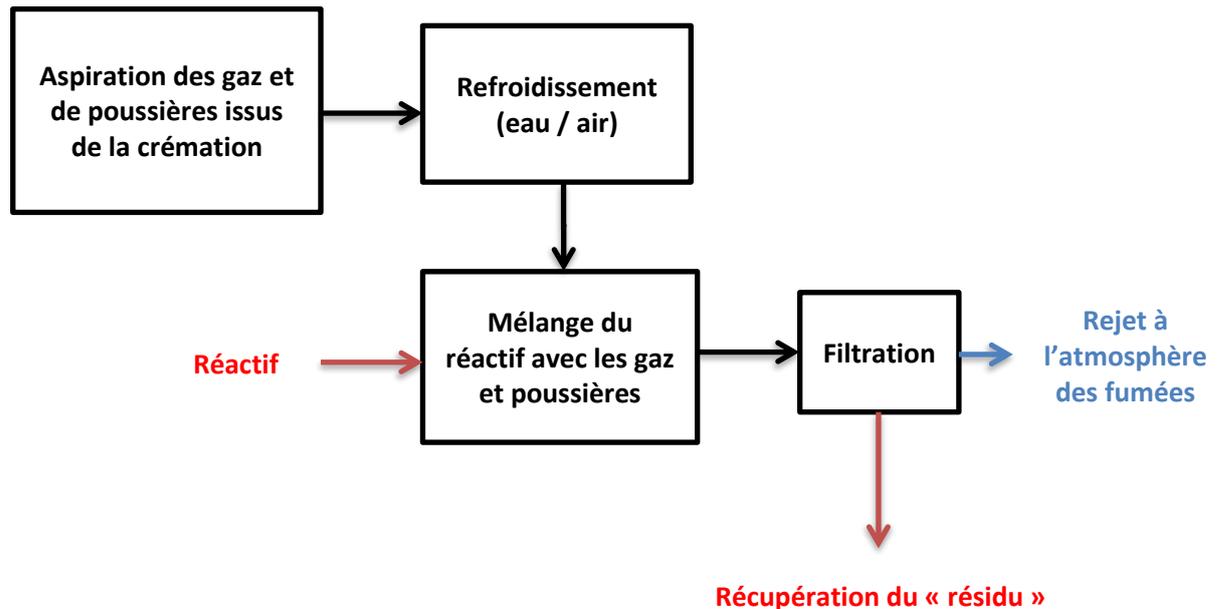
Les urnes non restituées immédiatement à la famille du défunt sont conservées dans un local spécifique, pour un délai réglementaire d'un an maximum. Certaines urnes peuvent être conservées au-delà de ce délai par autorisation préfectorale ou sur ordonnance du tribunal en cas de conflit entre héritiers.

## A4.2. Traitement des fumées

En application de la réglementation en vigueur<sup>34</sup>, tous les crématoriums sont équipés, depuis 2018, d'installations de traitement des fumées afin de limiter les rejets dans l'atmosphère de polluants inorganiques (chrome, plomb, mercure...) et organiques (dioxines principalement).

### A4.2.1. Principe

La figure 5 ci-après présente les principales étapes du traitement des fumées de crémation.



**Figure 5 : Principales étapes du traitement des gaz**

Le réactif utilisé est généralement un mélange de chaux et de charbon actif en poudre (CAP) ; il permet une meilleure rétention des métaux et des composés organiques au niveau du filtre (le CAP retient les polluants organiques et la chaux retient les métaux).

Le réactif est injecté dans un mélangeur (soit un cyclone, soit un système venturi) et est mis en contact avec les fumées refroidies.

### A4.2.2. Technologies employées

#### Technologie « grand conteneur »

Le réactif est introduit dans un silo qui est raccordé au système d'injection.

Le système de filtration est généralement un filtre à bougies (en céramique) contenu dans un grand conteneur. Les poussières et le réactif usagé sont introduits dans le conteneur d'un côté (i.e. côté bougies). Grâce à la brusque diminution de la vitesse des particules, les particules plus lourdes, par mouvement de décantation cyclonique, sont précipitées dans la trémie située dans la partie basse du conteneur. Les particules plus fines ou plus légères continuent leur trajet dans le conteneur, à l'intérieur duquel sont placées les bougies filtrantes ; l'air

<sup>34</sup> Arrêté du 28 janvier 2010 relatif à la hauteur de la cheminée des crématoriums et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère, entré en vigueur

pollué parcourt les bougies de l'extérieur vers l'intérieur de manière à ce que la poussière se dépose à l'extérieur alors que l'air remonte dans les bougies et sort, épuré, de l'autre côté du conteneur.

Le dépôt progressif des poussières et du réactif usagé rend nécessaire le nettoyage périodique des bougies et de la trémie. Les bougies sont nettoyées à l'aide d'une soufflette. La trémie du conteneur est vidangée à la pelle. Cette vidange correspond à deux fûts qui sont entreposés par deux jusqu'à ce qu'il y ait au moins quatre fûts.

### **Technologie « petit conteneur » (fûts)**

Le système de filtration est généralement un filtre à manches associé à une trémie de collecte se vidant dans un fût. Les poussières et le réactif usagé sont introduits dans le bas du filtre. Grâce à la brusque diminution de la vitesse des particules, les particules plus lourdes, par mouvement de décantation cyclonique, sont précipitées dans la trémie située dans la partie basse du filtre. Les particules plus fines ou plus légères continuent leur trajet dans le corps du filtre, à l'intérieur duquel sont placées les manches filtrantes ; l'air pollué parcourt les manches de l'extérieur vers l'intérieur de manière à ce que la poussière se dépose à l'extérieur alors que l'air remonte dans les manches et sort, épuré, au niveau de la partie haute du filtre.

Les manches sont nettoyées automatiquement. La trémie se vidant dans le fût, ce dernier est périodiquement remplacé.

La différence entre les deux technologies (« grand conteneur » et « petit conteneur ») réside, d'une part dans la nature du support filtrant (bougies ou manches), d'autre part et surtout dans la taille de la trémie. Ce dernier aspect impacte directement :

- la durée entre deux vidanges de trémie :
  - 12 jours pour la technologie « petit conteneur » ;
  - 6 mois pour la technologie « grand conteneur » ;
- la durée de la vidange elle-même :
  - 15 minutes pour la technologie « petit conteneur » ;
  - 1 heure pour la technologie « grand conteneur » ;
- le travailleur qui intervient :
  - un opérateur du crématorium pour la technologie « petit conteneur » ;
  - un agent de maintenance extérieur au crématorium pour la technologie « grand conteneur ».

## **ANNEXE 5. CREMATION DE DEPOUILLES RADIOACTIVES TRAITÉES PAR DU SAMARIUM 153, DU RADIUM 223 OU DE L'ACTINIUM 225 FIXES DANS LES OS**

Les tableaux suivants présentent les estimations de dose respectivement pour l'opérateur en charge de la crémation et pour les autres salariés du crématorium.

Les doses sont exprimées en  $\mu\text{Sv}$  par crémation (les doses inférieures et supérieures à  $300 \mu\text{Sv}$  sont respectivement en vert et en orange).

**Tableau 18 : Exposition de l'opérateur en charge de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en  $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 1 jour après le décès**

	Réception cercueil	Crémation	Broyage			Refroidissement			Mise en urne			Total ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ )	Conservation de l'urne ( $\mu\text{Sv}/\text{an}$ )
	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		
<sup>153</sup> Sm	5,27	1,16	$1,86.10^1$	8,01	1,25	6,27	6,14	$9,61.10^{-1}$	5,33	1,84	$2,87.10^{-1}$	<b><math>5,52.10^1</math></b>	6,89
<sup>223</sup> Ra	$2,25.10^{-2}$	$1,13.10^{-2}$	$9,12.10^{-2}$	$1,38.10^2$	$3,48.10^{-1}$	$3,82.10^{-2}$	$1,06.10^2$	$2,68.10^{-1}$	$3,71.10^{-2}$	$3,18.10^1$	$8,02.10^{-2}$	<b><math>2,77.10^2</math></b>	$3,26.10^{-1}$
<sup>225</sup> Ac	$7,54.10^{-3}$	$2,46.10^{-3}$	$2,56.10^{-2}$	$3,90.10^2$	$2,07.10^{-1}$	$9,72.10^{-3}$	$3,00.10^2$	$1,59.10^{-1}$	$9,41.10^{-3}$	$8,99.10^1$	$4,77.10^{-2}$	<b><math>7,80.10^2</math></b>	$6,75.10^{-2}$

**Tableau 19 : Exposition de l'opérateur en charge de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en  $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 6 jours après le décès**

	Réception cercueil	Crémation	Broyage			Refroidissement			Mise en urne			Total ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ )	Conservation de l'urne ( $\mu\text{Sv}/\text{an}$ )
	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		
<sup>153</sup> Sm	$8,92.10^{-1}$	$1,97.10^{-1}$	3,15	1,35	$2,12.10^{-1}$	1,06	1,04	$1,62.10^{-1}$	$9,01.10^{-1}$	$3,11.10^{-1}$	$4,86.10^{-2}$	<b>9,33</b>	1,17
<sup>223</sup> Ra	$1,66.10^{-2}$	$8,31.10^{-3}$	$6,73.10^{-2}$	$1,02.10^2$	$2,57.10^{-1}$	$2,82.10^{-2}$	$7,83.10^1$	$1,97.10^{-1}$	$2,74.10^{-2}$	$2,35.10^1$	$5,92.10^{-2}$	<b><math>2,04.10^2</math></b>	$2,40.10^{-1}$
<sup>225</sup> Ac	$5,33.10^{-3}$	$1,74.10^{-3}$	$1,81.10^{-2}$	$2,76.10^2$	$1,46.10^{-1}$	$6,88.10^{-3}$	$2,12.10^2$	$1,12.10^{-1}$	$6,65.10^{-3}$	$6,35.10^1$	$3,37.10^{-2}$	<b><math>5,51.10^2</math></b>	$4,77.10^{-2}$

**Tableau 20: Exposition des autres salariés du crématorium lors de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en  $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 1 jour après le décès**

	Réception cercueil	Crémation	Broyage	Refroidissement	Mise en urne	Total ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ )	Conservation de l'urne ( $\mu\text{Sv}/\text{an}$ )
	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		
<sup>153</sup> Sm	$5,68.10^{-2}$	$2,78.10^{-1}$	$2,49.10^{-1}$	$6,06.10^{-2}$	$2,62.10^{-2}$	<b><math>6,71.10^{-1}</math></b>	$4,04.10^1$
<sup>223</sup> Ra	$2,86.10^{-4}$	$1,82.10^{-3}$	$1,24.10^{-3}$	$4,01.10^{-4}$	$1,92.10^{-4}$	<b><math>3,94.10^{-3}</math></b>	1,69
<sup>225</sup> Ac	$7,90.10^{-5}$	$4,52.10^{-4}$	$3,38.10^{-4}$	$1,00.10^{-4}$	$4,68.10^{-5}$	<b><math>1,02.10^{-3}</math></b>	$3,70.10^{-1}$

**Tableau 21: Exposition des autres salariés du crématorium lors de la crémation de la dépouille traitée par samarium 153, radium 223 ou actinium 225 (en  $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ ) – Crémation 6 jour après le décès**

	Réception cercueil	Crémation	Broyage	Refroidissement	Mise en urne	Total ( $\mu\text{Sv}/\text{crémation}$ )	Conservation de l'urne ( $\mu\text{Sv}/\text{an}$ )
	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		
<sup>153</sup> Sm	$9,60.10^{-3}$	$4,71.10^{-2}$	$4,20.10^{-2}$	$1,03.10^{-2}$	$4,43.10^{-3}$	<b><math>1,13.10^{-1}</math></b>	6,82
<sup>223</sup> Ra	$2,11.10^{-4}$	$1,34.10^{-3}$	$9,13.10^{-4}$	$2,96.10^{-4}$	$1,42.10^{-4}$	<b><math>2,90.10^{-3}</math></b>	1,25
<sup>225</sup> Ac	$5,59.10^{-5}$	$3,20.10^{-4}$	$2,39.10^{-4}$	$7,09.10^{-5}$	$3,31.10^{-5}$	<b><math>7,19.10^{-4}</math></b>	$2,61.10^{-1}$

## **ANNEXE 6. CREMATION DE DEPOUILLES RADIOACTIVES – TECHNOLOGIE « PETIT CONTENEUR »**

Les tableaux suivants présentent les estimations de dose respectivement pour l'opérateur en charge de la crémation et pour les autres salariés du crématorium équipé d'un traitement de fumées – technologie « petit conteneur ».

Les doses sont exprimées en  $\mu\text{Sv}$  par crémation (les doses inférieures à  $300 \mu\text{Sv}$ , les doses comprises entre  $300 \mu\text{Sv}$  et  $1 \text{ mSv}$  et les doses supérieures à  $1 \text{ mSv}$  sont respectivement en vert, orange et rouge).

Tableau 22 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès (µSv/crémation)

		Scénario 1 – 1 jour après décès							Scénario 1 – 6 jours après décès								
		Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total	Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total		
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	3,57.10 <sup>-1</sup>	1,33.10 <sup>-2</sup>	3,23	6,96.10 <sup>-2</sup>	1,44.10 <sup>-3</sup>	0,00	4,09	5,91.10 <sup>-4</sup>	5,11.10 <sup>-4</sup>	1,90.10 <sup>-5</sup>	4,63.10 <sup>-3</sup>	9,95.10 <sup>-5</sup>	2,06.10 <sup>-6</sup>	0,00	5,85.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	7,48.10 <sup>-1</sup>	3,91.10 <sup>-2</sup>	9,27	3,30.10 <sup>-1</sup>	5,78.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,14.10 <sup>1</sup>	3,63.10 <sup>-1</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-2</sup>	3,20	1,14.10 <sup>-1</sup>	2,00.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,95
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,19.10 <sup>-6</sup>	1,43.10 <sup>-8</sup>	3,92.10 <sup>-6</sup>	9,50.10 <sup>-9</sup>	3,03.10 <sup>-10</sup>	0,00	7,37.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,28.10 <sup>-38</sup>	1,54.10 <sup>-40</sup>	4,22.10 <sup>-38</sup>	1,02.10 <sup>-40</sup>	3,26.10 <sup>-42</sup>	0,00	7,94.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,68	1,39.10 <sup>-1</sup>	3,36.10 <sup>1</sup>	5,65.10 <sup>-1</sup>	1,60.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,19.10 <sup>1</sup>	1,35	1,27	4,80.10 <sup>-2</sup>	1,16.10 <sup>1</sup>	1,96.10 <sup>-1</sup>	5,55.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,45.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,44.10 <sup>-1</sup>	6,84.10 <sup>-3</sup>	1,65	6,69.10 <sup>-3</sup>	1,31.10 <sup>-4</sup>	0,00	2,05	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,44.10 <sup>-7</sup>	6,83.10 <sup>-9</sup>	1,64.10 <sup>-6</sup>	6,68.10 <sup>-9</sup>	1,31.10 <sup>-10</sup>	0,00	2,04.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	1,24	6,55.10 <sup>-2</sup>	1,55.10 <sup>1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	7,09.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,89.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>-1</sup>	3,64.10 <sup>-1</sup>	1,93.10 <sup>-2</sup>	4,56	8,62.10 <sup>-2</sup>	2,08.10 <sup>-3</sup>	0,00	5,55
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,48.10 <sup>-1</sup>	7,68.10 <sup>-3</sup>	1,84	2,69.10 <sup>-2</sup>	1,33.10 <sup>-3</sup>	0,00	2,28	4,60.10 <sup>-4</sup>	2,72.10 <sup>-4</sup>	1,41.10 <sup>-5</sup>	3,38.10 <sup>-3</sup>	4,94.10 <sup>-5</sup>	2,44.10 <sup>-6</sup>	0,00	4,17.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	1,25.10 <sup>-2</sup>	3,00	1,99	1,03.10 <sup>-1</sup>	0,00	5,72	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,91.10 <sup>-1</sup>	8,11.10 <sup>-3</sup>	1,95	1,29	6,67.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,72
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	1,70.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>-2</sup>	2,99	4,40.10 <sup>-2</sup>	1,42.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,61	1,26.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>-2</sup>	4,03.10 <sup>-3</sup>	9,57.10 <sup>-1</sup>	1,41.10 <sup>-2</sup>	4,54.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,16
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	7,27	3,87.10 <sup>-1</sup>	9,15.10 <sup>1</sup>	8,55	1,30.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,18.10 <sup>2</sup>	2,69	1,90	1,01.10 <sup>-1</sup>	2,39.10 <sup>1</sup>	2,23	3,38.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,08.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	1,18.10 <sup>-7</sup>	1,15.10 <sup>-8</sup>	3,30.10 <sup>-6</sup>	1,58	6,49.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,65	1,50.10 <sup>-6</sup>	3,23.10 <sup>-8</sup>	3,15.10 <sup>-9</sup>	9,01.10 <sup>-7</sup>	4,32.10 <sup>-1</sup>	1,77.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,50.10 <sup>-1</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	5,68.10 <sup>-7</sup>	5,53.10 <sup>-8</sup>	1,58.10 <sup>-5</sup>	7,60	3,12.10 <sup>-1</sup>	0,00	7,91	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,55.10 <sup>-7</sup>	1,51.10 <sup>-8</sup>	4,33.10 <sup>-6</sup>	2,07	8,51.10 <sup>-2</sup>	0,00	2,16
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,75.10 <sup>-6</sup>	1,70.10 <sup>-7</sup>	4,88.10 <sup>-5</sup>	2,34.10 <sup>1</sup>	9,61.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,44.10 <sup>1</sup>	2,22.10 <sup>-5</sup>	4,78.10 <sup>-7</sup>	4,66.10 <sup>-8</sup>	1,33.10 <sup>-5</sup>	6,40	2,62.10 <sup>-1</sup>	0,00	6,66
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	3,46.10 <sup>1</sup>	1,84	4,34.10 <sup>2</sup>	8,21	1,99.10 <sup>-1</sup>	0,00	5,29.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	1,02.10 <sup>1</sup>	5,39.10 <sup>-1</sup>	1,28.10 <sup>2</sup>	2,41	5,83.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,55.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	5,86	2,50.10 <sup>-1</sup>	6,00.10 <sup>1</sup>	3,97.10 <sup>1</sup>	2,05	0,00	1,14.10 <sup>2</sup>	4,28	3,81	1,62.10 <sup>-1</sup>	3,90.10 <sup>1</sup>	2,58.10 <sup>1</sup>	1,33	0,00	7,44.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,93.10 <sup>1</sup>	1,25	3,00.10 <sup>2</sup>	1,99.10 <sup>2</sup>	1,03.10 <sup>1</sup>	0,00	5,72.10 <sup>2</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,91.10 <sup>1</sup>	8,11.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>2</sup>	1,29.10 <sup>2</sup>	6,67	0,00	3,72.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	5,86.10 <sup>1</sup>	2,50	6,00.10 <sup>2</sup>	3,97.10 <sup>2</sup>	2,05.10 <sup>1</sup>	0,00	1,14.10 <sup>3</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,81.10 <sup>1</sup>	1,62	3,90.10 <sup>2</sup>	2,58.10 <sup>2</sup>	1,33.10 <sup>1</sup>	0,00	7,44.10 <sup>2</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,79.10 <sup>-4</sup>	5,36.10 <sup>-5</sup>	1,59.10 <sup>-2</sup>	3,16	3,28.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,24	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,23.10 <sup>-4</sup>	3,69.10 <sup>-5</sup>	1,09.10 <sup>-2</sup>	2,17	2,26.10 <sup>-2</sup>	0,00	2,23
	<sup>177</sup> Lu	6,26	4,04	2,28.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>1</sup>	3,61.10 <sup>1</sup>	4,49.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,01.10 <sup>2</sup>	3,73	2,41	1,36.10 <sup>-1</sup>	3,24.10 <sup>1</sup>	2,15.10 <sup>1</sup>	2,68.10 <sup>-1</sup>	0,00	6,04.10 <sup>1</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	1,23.10 <sup>-1</sup>	7,71.10 <sup>-3</sup>	1,84	1,95	6,28.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,20	8,76.10 <sup>-2</sup>	4,91.10 <sup>-2</sup>	3,08.10 <sup>-3</sup>	7,35.10 <sup>-1</sup>	7,78.10 <sup>-1</sup>	2,51.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,68
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,83	1,27.10 <sup>-1</sup>	3,06.10 <sup>1</sup>	8,68	4,24.10 <sup>-1</sup>	0,00	4,64.10 <sup>1</sup>	2,83.10 <sup>-2</sup>	2,12.10 <sup>-2</sup>	9,54.10 <sup>-4</sup>	2,29.10 <sup>-1</sup>	6,51.10 <sup>-2</sup>	3,18.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,48.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	2,04.10 <sup>-2</sup>	1,33.10 <sup>-3</sup>	3,18.10 <sup>-1</sup>	1,68.10 <sup>1</sup>	4,35.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,73.10 <sup>1</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,99.10 <sup>-7</sup>	1,30.10 <sup>-8</sup>	3,11.10 <sup>-6</sup>	1,64.10 <sup>-4</sup>	4,25.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,69.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	4,62.10 <sup>-3</sup>	2,32.10 <sup>-4</sup>	5,56.10 <sup>-2</sup>	2,87.10 <sup>-1</sup>	1,32.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,56.10 <sup>-1</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,81.10 <sup>-6</sup>	9,06.10 <sup>-8</sup>	2,17.10 <sup>-5</sup>	1,12.10 <sup>-4</sup>	5,18.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,39.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	7,11.10 <sup>-8</sup>	6,62.10 <sup>-10</sup>	1,85.10 <sup>-7</sup>	2,18.10 <sup>-6</sup>	3,76.10 <sup>-10</sup>	0,00	2,58.10 <sup>-6</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,22.10 <sup>-43</sup>	1,13.10 <sup>-45</sup>	3,17.10 <sup>-43</sup>	3,74.10 <sup>-42</sup>	6,45.10 <sup>-46</sup>	0,00	4,42.10 <sup>-42</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,27.10 <sup>-9</sup>	1,53.10 <sup>-11</sup>	4,46.10 <sup>-9</sup>	4,26.10 <sup>-8</sup>	5,37.10 <sup>-12</sup>	0,00	5,51.10 <sup>-8</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	7,70.10 <sup>-57</sup>	5,22.10 <sup>-59</sup>	1,52.10 <sup>-56</sup>	1,45.10 <sup>-55</sup>	1,83.10 <sup>-59</sup>	0,00	1,87.10 <sup>-55</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	3,53.10 <sup>-3</sup>	2,20.10 <sup>-4</sup>	5,20.10 <sup>-2</sup>	4,49.10 <sup>2</sup>	4,28.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,49.10 <sup>2</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	2,49.10 <sup>-3</sup>	1,55.10 <sup>-4</sup>	3,68.10 <sup>-2</sup>	3,17.10 <sup>2</sup>	3,03.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,17.10 <sup>2</sup>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,98	1,40.10 <sup>-1</sup>	3,43.10 <sup>1</sup>	2,49.10 <sup>1</sup>	1,08	0,00	6,82.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-1</sup>	6,35.10 <sup>-3</sup>	1,55	1,13	4,91.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,09	
<sup>153</sup> Sm	5,27	2,05	1,49.10 <sup>-1</sup>	3,65.10 <sup>1</sup>	9,10	2,56.10 <sup>-1</sup>	0,00	5,33.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	3,47.10 <sup>-1</sup>	2,52.10 <sup>-2</sup>	6,16	1,54	4,33.10 <sup>-2</sup>	0,00	9,01	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,46.10 <sup>-2</sup>	8,20.10 <sup>-4</sup>	1,94.10 <sup>-1</sup>	1,59.10 <sup>2</sup>	7,20.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,59.10 <sup>2</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	1,08.10 <sup>-2</sup>	6,05.10 <sup>-4</sup>	1,43.10 <sup>-1</sup>	1,17.10 <sup>2</sup>	5,31.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,17.10 <sup>2</sup>	

Tableau 23 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès (μSv/crémation)

		Scénario 2 – 1 jour après décès							Scénario 2 – 6 jours après décès								
		Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total	Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total		
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	3,57.10 <sup>-1</sup>	1,33.10 <sup>-2</sup>	3,23	6,96.10 <sup>-2</sup>	1,44.10 <sup>-3</sup>	5,94.10 <sup>-1</sup>	4,68	5,91.10 <sup>-4</sup>	5,11.10 <sup>-4</sup>	1,90.10 <sup>-5</sup>	4,63.10 <sup>-3</sup>	9,95.10 <sup>-5</sup>	2,06.10 <sup>-6</sup>	8,50.10 <sup>-4</sup>	6,70.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	7,48.10 <sup>-1</sup>	3,91.10 <sup>-2</sup>	9,27.10	3,30.10 <sup>-1</sup>	5,78.10 <sup>-3</sup>	8,81	2,03.10 <sup>1</sup>	3,63.10 <sup>-1</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-2</sup>	3,20	1,14.10 <sup>-1</sup>	2,00.10 <sup>-3</sup>	3,04	7,00
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,19.10 <sup>-6</sup>	1,43.10 <sup>-8</sup>	3,92.10 <sup>-6</sup>	9,50.10 <sup>-9</sup>	3,03.10 <sup>-10</sup>	5,96.10 <sup>-8</sup>	7,43.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,28.10 <sup>-38</sup>	1,54.10 <sup>-40</sup>	4,22.10 <sup>-38</sup>	1,02.10 <sup>-40</sup>	3,26.10 <sup>-42</sup>	6,42.10 <sup>-40</sup>	8,00.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,68	1,39.10 <sup>-1</sup>	3,36.10 <sup>1</sup>	5,65.10 <sup>-1</sup>	1,60.10 <sup>-2</sup>	3,79.10 <sup>1</sup>	7,97.10 <sup>1</sup>	1,35	1,27	4,80.10 <sup>-2</sup>	1,16.10 <sup>1</sup>	1,96.10 <sup>-1</sup>	5,55.10 <sup>-3</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	2,76.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,44.10 <sup>-1</sup>	6,84.10 <sup>-3</sup>	1,65	6,69.10 <sup>-3</sup>	1,31.10 <sup>-4</sup>	1,26.10 <sup>-1</sup>	2,17	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,44.10 <sup>-7</sup>	6,83.10 <sup>-9</sup>	1,64.10 <sup>-6</sup>	6,68.10 <sup>-9</sup>	1,31.10 <sup>-10</sup>	1,25.10 <sup>-7</sup>	2,17.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	1,24	6,55.10 <sup>-2</sup>	1,55.10 <sup>1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	7,09.10 <sup>-3</sup>	1,30.10 <sup>1</sup>	3,19.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>-1</sup>	3,64.10 <sup>-1</sup>	1,93.10 <sup>-2</sup>	4,56	8,62.10 <sup>-2</sup>	2,08.10 <sup>-3</sup>	3,83	9,38
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,48.10 <sup>-1</sup>	7,68.10 <sup>-3</sup>	1,84	2,69.10 <sup>-2</sup>	1,33.10 <sup>-3</sup>	3,10.10 <sup>-1</sup>	2,59	4,60.10 <sup>-4</sup>	2,72.10 <sup>-4</sup>	1,41.10 <sup>-5</sup>	3,38.10 <sup>-3</sup>	4,94.10 <sup>-5</sup>	2,44.10 <sup>-6</sup>	5,68.10 <sup>-4</sup>	4,74.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	1,25.10 <sup>-2</sup>	3,00	1,99	1,03.10 <sup>-1</sup>	5,32	1,10.10 <sup>1</sup>	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,91.10 <sup>-1</sup>	8,11.10 <sup>-3</sup>	1,95	1,29	6,67.10 <sup>-2</sup>	3,46	7,18
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	1,70.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>-2</sup>	2,99	4,40.10 <sup>-2</sup>	1,42.10 <sup>-3</sup>	2,45	6,06	1,26.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>-2</sup>	4,03.10 <sup>-3</sup>	9,57.10 <sup>-1</sup>	1,41.10 <sup>-2</sup>	4,54.10 <sup>-4</sup>	7,83.10 <sup>-1</sup>	1,94
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	7,27	3,87.10 <sup>-1</sup>	9,15.10 <sup>1</sup>	8,55	1,30.10 <sup>-1</sup>	7,11.10 <sup>1</sup>	1,89.10 <sup>2</sup>	2,69	1,90	1,01.10 <sup>-1</sup>	2,39.10 <sup>1</sup>	2,23	3,38.10 <sup>-2</sup>	1,86.10 <sup>1</sup>	4,94.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	1,18.10 <sup>-7</sup>	1,15.10 <sup>-8</sup>	3,30.10 <sup>-6</sup>	1,58	6,49.10 <sup>-2</sup>	2,20.10 <sup>-6</sup>	1,65	1,50.10 <sup>-6</sup>	3,23.10 <sup>-8</sup>	3,15.10 <sup>-9</sup>	9,01.10 <sup>-7</sup>	4,32.10 <sup>-1</sup>	1,77.10 <sup>-2</sup>	6,00.10 <sup>-7</sup>	4,50.10 <sup>-1</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	5,68.10 <sup>-7</sup>	5,53.10 <sup>-8</sup>	1,58.10 <sup>-5</sup>	7,60	3,12.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-5</sup>	7,91	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,55.10 <sup>-7</sup>	1,51.10 <sup>-8</sup>	4,33.10 <sup>-6</sup>	2,07	8,51.10 <sup>-2</sup>	2,88.10 <sup>-6</sup>	2,16
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,75.10 <sup>-6</sup>	1,70.10 <sup>-7</sup>	4,88.10 <sup>-5</sup>	2,34.10 <sup>1</sup>	9,61.10 <sup>-1</sup>	3,25.10 <sup>-5</sup>	2,44.10 <sup>1</sup>	2,22.10 <sup>-5</sup>	4,78.10 <sup>-7</sup>	4,66.10 <sup>-8</sup>	1,33.10 <sup>-5</sup>	6,40	2,62.10 <sup>-1</sup>	8,87.10 <sup>-6</sup>	6,66
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	3,46.10 <sup>1</sup>	1,84	4,34.10 <sup>2</sup>	8,21	1,99.10 <sup>-1</sup>	3,65.10 <sup>2</sup>	8,94.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	1,02.10 <sup>1</sup>	5,39.10 <sup>-1</sup>	1,28.10 <sup>2</sup>	2,41	5,83.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>2</sup>	2,63.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	5,86	2,50.10 <sup>-1</sup>	6,00.10 <sup>1</sup>	3,97.10 <sup>1</sup>	2,05	1,06.10 <sup>2</sup>	2,21.10 <sup>2</sup>	4,28	3,81	1,62.10 <sup>-1</sup>	3,90.10 <sup>1</sup>	2,58.10 <sup>1</sup>	1,33	6,91.10 <sup>1</sup>	1,44.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,93.10 <sup>1</sup>	1,25	3,00.10 <sup>2</sup>	1,99.10 <sup>2</sup>	1,03.10 <sup>1</sup>	5,32.10 <sup>2</sup>	1,10.10 <sup>3</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,91.10 <sup>1</sup>	8,11.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>2</sup>	1,29.10 <sup>2</sup>	6,67	3,46.10 <sup>2</sup>	7,18.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	5,86.10 <sup>1</sup>	2,50	6,00.10 <sup>2</sup>	3,97.10 <sup>2</sup>	2,05.10 <sup>1</sup>	1,06.10 <sup>3</sup>	2,21.10 <sup>3</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,81.10 <sup>1</sup>	1,62	3,90.10 <sup>2</sup>	2,58.10 <sup>2</sup>	1,33.10 <sup>1</sup>	6,91.10 <sup>2</sup>	1,44.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,79.10 <sup>-4</sup>	5,36.10 <sup>-5</sup>	1,59.10 <sup>-2</sup>	3,16	3,28.10 <sup>-2</sup>	1,95.10 <sup>-2</sup>	3,26	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,23.10 <sup>-4</sup>	3,69.10 <sup>-5</sup>	1,09.10 <sup>-2</sup>	2,17	2,26.10 <sup>-2</sup>	1,35.10 <sup>-2</sup>	2,24
	<sup>177</sup> Lu	6,26	4,04	2,28.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>1</sup>	3,61.10 <sup>1</sup>	4,49.10 <sup>-1</sup>	7,95.10 <sup>1</sup>	1,81.10 <sup>2</sup>	3,73	2,41	1,36.10 <sup>-1</sup>	3,24.10 <sup>1</sup>	2,15.10 <sup>1</sup>	2,68.10 <sup>-1</sup>	4,74.10 <sup>1</sup>	1,08.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	1,23.10 <sup>-1</sup>	7,71.10 <sup>-3</sup>	1,84	1,95	6,28.10 <sup>-2</sup>	1,83	6,02	8,76.10 <sup>-2</sup>	4,91.10 <sup>-2</sup>	3,08.10 <sup>-3</sup>	7,35.10 <sup>-1</sup>	7,78.10 <sup>-1</sup>	2,51.10 <sup>-2</sup>	7,30.10 <sup>-1</sup>	2,41
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,83	1,27.10 <sup>-1</sup>	3,06.10 <sup>1</sup>	8,68	4,24.10 <sup>-1</sup>	7,18	5,36.10 <sup>1</sup>	2,83.10 <sup>-2</sup>	2,12.10 <sup>-2</sup>	9,54.10 <sup>-4</sup>	2,29.10 <sup>-1</sup>	6,51.10 <sup>-2</sup>	3,18.10 <sup>-3</sup>	5,38.10 <sup>-2</sup>	4,02.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	2,04.10 <sup>-2</sup>	1,33.10 <sup>-3</sup>	3,18.10 <sup>-1</sup>	1,68.10 <sup>1</sup>	4,35.10 <sup>-2</sup>	2,77.10 <sup>-2</sup>	1,73.10 <sup>1</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,99.10 <sup>-7</sup>	1,30.10 <sup>-8</sup>	3,11.10 <sup>-6</sup>	1,64.10 <sup>-4</sup>	4,25.10 <sup>-7</sup>	2,70.10 <sup>-7</sup>	1,69.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	4,62.10 <sup>-3</sup>	2,32.10 <sup>-4</sup>	5,56.10 <sup>-2</sup>	2,87.10 <sup>-1</sup>	1,32.10 <sup>-3</sup>	7,58.10 <sup>-3</sup>	3,63.10 <sup>-1</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,81.10 <sup>-6</sup>	9,06.10 <sup>-8</sup>	2,17.10 <sup>-5</sup>	1,12.10 <sup>-4</sup>	5,18.10 <sup>-7</sup>	2,97.10 <sup>-6</sup>	1,42.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	7,11.10 <sup>-8</sup>	6,62.10 <sup>-10</sup>	1,85.10 <sup>-7</sup>	2,18.10 <sup>-6</sup>	3,76.10 <sup>-10</sup>	2,69.10 <sup>-9</sup>	2,58.10 <sup>-6</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,22.10 <sup>-43</sup>	1,13.10 <sup>-45</sup>	3,17.10 <sup>-43</sup>	3,74.10 <sup>-42</sup>	6,45.10 <sup>-46</sup>	4,61.10 <sup>-45</sup>	4,43.10 <sup>-42</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,27.10 <sup>-9</sup>	1,53.10 <sup>-11</sup>	4,46.10 <sup>-9</sup>	4,26.10 <sup>-8</sup>	5,37.10 <sup>-12</sup>	4,28.10 <sup>-11</sup>	5,51.10 <sup>-8</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	7,70.10 <sup>-57</sup>	5,22.10 <sup>-59</sup>	1,52.10 <sup>-56</sup>	1,45.10 <sup>-55</sup>	1,83.10 <sup>-59</sup>	1,46.10 <sup>-58</sup>	1,87.10 <sup>-55</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	3,53.10 <sup>-3</sup>	2,20.10 <sup>-4</sup>	5,20.10 <sup>-2</sup>	4,49.10 <sup>2</sup>	4,28.10 <sup>-2</sup>	8,90.10 <sup>-2</sup>	4,49.10 <sup>2</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	2,49.10 <sup>-3</sup>	1,55.10 <sup>-4</sup>	3,68.10 <sup>-2</sup>	3,17.10 <sup>2</sup>	3,03.10 <sup>-2</sup>	6,29.10 <sup>-2</sup>	3,17.10 <sup>2</sup>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,98	1,40.10 <sup>-1</sup>	3,43.10 <sup>1</sup>	2,49.10 <sup>1</sup>	1,08	1,29.10 <sup>1</sup>	8,11.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-1</sup>	6,35.10 <sup>-3</sup>	1,55	1,13	4,91.10 <sup>-2</sup>	5,86.10 <sup>-1</sup>	3,68	
<sup>153</sup> Sm	5,27	2,05	1,49.10 <sup>-1</sup>	3,65.10 <sup>1</sup>	9,10	2,56.10 <sup>-1</sup>	1,93.10 <sup>1</sup>	7,26.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	3,47.10 <sup>-1</sup>	2,52.10 <sup>-2</sup>	6,16	1,54	4,33.10 <sup>-2</sup>	3,27	1,23.10 <sup>1</sup>	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,46.10 <sup>-2</sup>	8,20.10 <sup>-4</sup>	1,94.10 <sup>-1</sup>	1,59.10 <sup>2</sup>	7,20.10 <sup>-2</sup>	3,58.10 <sup>-1</sup>	1,59.10 <sup>2</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	1,08.10 <sup>-2</sup>	6,05.10 <sup>-4</sup>	1,43.10 <sup>-1</sup>	1,17.10 <sup>2</sup>	5,31.10 <sup>-2</sup>	2,64.10 <sup>-1</sup>	1,18.10 <sup>2</sup>	

Tableau 24 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès (µSv/crémation)

	Scénario 3 – 1 jour après décès								Scénario 3 – 6 jours après décès								
	Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total	Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total			
	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.		
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	3,57.10 <sup>-1</sup>	6,12.10 <sup>-1</sup>	4,53.10 <sup>-7</sup>	9,73.10 <sup>-9</sup>	2,01.10 <sup>-10</sup>	0,00	1,38	5,91.10 <sup>-4</sup>	5,11.10 <sup>-4</sup>	8,76.10 <sup>-4</sup>	6,48.10 <sup>-10</sup>	1,39.10 <sup>-11</sup>	2,88.10 <sup>-13</sup>	0,00	1,98.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	7,48.10 <sup>-1</sup>	9,41	7,15.10 <sup>-1</sup>	2,54.10 <sup>-2</sup>	4,46.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,20.10 <sup>1</sup>	3,63.10 <sup>-1</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	3,25	2,47.10 <sup>-1</sup>	8,78.10 <sup>-3</sup>	1,54.10 <sup>-4</sup>	0,00	4,13
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,19.10 <sup>-6</sup>	1,49.10 <sup>-7</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,28.10 <sup>-38</sup>	1,60.10 <sup>-39</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,68	3,37.10 <sup>1</sup>	2,61	4,40.10 <sup>-2</sup>	1,25.10 <sup>-3</sup>	0,00	4,39.10 <sup>1</sup>	1,35	1,27	1,17.10 <sup>1</sup>	9,05.10 <sup>-1</sup>	1,52.10 <sup>-2</sup>	4,32.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,52.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,44.10 <sup>-1</sup>	1,65.10 <sup>-1</sup>	5,71.10 <sup>-15</sup>	2,32.10 <sup>-17</sup>	4,55.10 <sup>-19</sup>	0,00	5,52.10 <sup>-1</sup>	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,44.10 <sup>-7</sup>	1,65.10 <sup>-7</sup>	5,70.10 <sup>-21</sup>	2,32.10 <sup>-23</sup>	4,54.10 <sup>-25</sup>	0,00	5,51.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	1,24	1,42.10 <sup>1</sup>	8,11.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>-2</sup>	3,71.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,80.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>-1</sup>	3,64.10 <sup>-1</sup>	4,18	2,38.10 <sup>-1</sup>	4,51.10 <sup>-3</sup>	1,09.10 <sup>-4</sup>	0,00	5,30
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,48.10 <sup>-1</sup>	3,65.10 <sup>-1</sup>	4,68.10 <sup>-7</sup>	6,85.10 <sup>-9</sup>	3,38.10 <sup>-10</sup>	0,00	7,64.10 <sup>-1</sup>	4,60.10 <sup>-4</sup>	2,72.10 <sup>-4</sup>	6,69.10 <sup>-4</sup>	8,59.10 <sup>-10</sup>	1,26.10 <sup>-11</sup>	6,20.10 <sup>-13</sup>	0,00	1,40.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	5,18	1,06	7,03.10 <sup>-1</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	0,00	7,60	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,91.10 <sup>-1</sup>	3,36	6,90.10 <sup>-1</sup>	4,57.10 <sup>-1</sup>	2,36.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,94
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	1,70.10 <sup>-1</sup>	2,72	1,92.10 <sup>-1</sup>	2,82.10 <sup>-3</sup>	9,10.10 <sup>-5</sup>	0,00	3,48	1,26.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>-2</sup>	8,71.10 <sup>-1</sup>	6,14.10 <sup>-2</sup>	9,01.10 <sup>-4</sup>	2,91.10 <sup>-5</sup>	0,00	1,11
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	7,27	7,74.10 <sup>1</sup>	3,60	3,36.10 <sup>-1</sup>	5,09.10 <sup>-3</sup>	0,00	9,89.10 <sup>1</sup>	2,69	1,90	2,02.10 <sup>1</sup>	9,38.10 <sup>-1</sup>	8,77.10 <sup>-2</sup>	1,33.10 <sup>-3</sup>	0,00	2,58.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	1,18.10 <sup>-7</sup>	1,37.10 <sup>-6</sup>	1,45.10 <sup>-7</sup>	6,93.10 <sup>-2</sup>	2,84.10 <sup>-3</sup>	0,00	7,22.10 <sup>-2</sup>	1,50.10 <sup>-6</sup>	3,23.10 <sup>-8</sup>	3,73.10 <sup>-7</sup>	3,95.10 <sup>-8</sup>	1,89.10 <sup>-2</sup>	7,77.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,97.10 <sup>-2</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	5,68.10 <sup>-7</sup>	6,56.10 <sup>-6</sup>	6,94.10 <sup>-7</sup>	3,33.10 <sup>-1</sup>	1,37.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,46.10 <sup>-1</sup>	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,55.10 <sup>-7</sup>	1,79.10 <sup>-6</sup>	1,89.10 <sup>-7</sup>	9,09.10 <sup>-2</sup>	3,73.10 <sup>-3</sup>	0,00	9,46.10 <sup>-2</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,75.10 <sup>-6</sup>	2,02.10 <sup>-5</sup>	2,14.10 <sup>-6</sup>	1,03	4,21.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,07	2,22.10 <sup>-5</sup>	4,78.10 <sup>-7</sup>	5,52.10 <sup>-6</sup>	5,84.10 <sup>-7</sup>	2,80.10 <sup>-1</sup>	1,15.10 <sup>-2</sup>	0,00	2,92.10 <sup>-1</sup>
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	3,46.10 <sup>1</sup>	3,98.10 <sup>2</sup>	2,27.10 <sup>1</sup>	4,29.10 <sup>-1</sup>	1,04.10 <sup>-2</sup>	0,00	5,05.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	1,02.10 <sup>1</sup>	1,17.10 <sup>2</sup>	6,67	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,05.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,48.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	5,86	1,04.10 <sup>2</sup>	2,12.10 <sup>1</sup>	1,41.10 <sup>1</sup>	7,27.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,52.10 <sup>2</sup>	4,28	3,81	6,73.10 <sup>1</sup>	1,38.10 <sup>1</sup>	9,14	4,72.10 <sup>-1</sup>	0,00	9,88.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,93.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>2</sup>	1,06.10 <sup>2</sup>	7,03.10 <sup>1</sup>	3,63	0,00	7,60.10 <sup>2</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,91.10 <sup>1</sup>	3,36.10 <sup>2</sup>	6,90.10 <sup>1</sup>	4,57.10 <sup>1</sup>	2,36	0,00	4,94.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	5,86.10 <sup>1</sup>	1,04.10 <sup>3</sup>	2,12.10 <sup>2</sup>	1,41.10 <sup>2</sup>	7,27	0,00	1,52.10 <sup>3</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,81.10 <sup>1</sup>	6,73.10 <sup>2</sup>	1,38.10 <sup>2</sup>	9,14.10 <sup>1</sup>	4,72	0,00	9,88.10 <sup>2</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,79.10 <sup>-4</sup>	9,55.10 <sup>-3</sup>	6,46.10 <sup>-3</sup>	1,29	1,34.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,35	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,23.10 <sup>-4</sup>	6,58.10 <sup>-3</sup>	4,45.10 <sup>-3</sup>	8,86.10 <sup>-1</sup>	9,20.10 <sup>-3</sup>	0,00	9,30.10 <sup>-1</sup>
	<sup>177</sup> Lu	6,26	4,04	8,60.10 <sup>1</sup>	1,56.10 <sup>1</sup>	1,04.10 <sup>1</sup>	1,29.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,22.10 <sup>2</sup>	3,73	2,41	5,13.10 <sup>1</sup>	9,32	6,20	7,71.10 <sup>-2</sup>	0,00	7,31.10 <sup>1</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	1,23.10 <sup>-1</sup>	2,02	2,02.10 <sup>-1</sup>	2,14.10 <sup>-1</sup>	6,90.10 <sup>-3</sup>	0,00	2,79	8,76.10 <sup>-2</sup>	4,91.10 <sup>-2</sup>	8,09.10 <sup>-1</sup>	8,07.10 <sup>-2</sup>	8,54.10 <sup>-2</sup>	2,76.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,11
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,83	7,61	2,32.10 <sup>-4</sup>	6,58.10 <sup>-5</sup>	3,21.10 <sup>-6</sup>	0,00	1,42.10 <sup>1</sup>	2,83.10 <sup>-2</sup>	2,12.10 <sup>-2</sup>	5,71.10 <sup>-2</sup>	1,74.10 <sup>-6</sup>	4,93.10 <sup>-7</sup>	2,41.10 <sup>-8</sup>	0,00	1,07.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	2,04.10 <sup>-2</sup>	3,52.10 <sup>-2</sup>	2,69.10 <sup>-13</sup>	1,42.10 <sup>-11</sup>	3,68.10 <sup>-14</sup>	0,00	1,06.10 <sup>-1</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,99.10 <sup>-7</sup>	3,44.10 <sup>-7</sup>	2,63.10 <sup>-18</sup>	1,39.10 <sup>-16</sup>	3,59.10 <sup>-19</sup>	0,00	1,03.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	4,62.10 <sup>-3</sup>	8,95.10 <sup>-3</sup>	3,41.10 <sup>-10</sup>	1,76.10 <sup>-9</sup>	8,13.10 <sup>-12</sup>	0,00	2,10.10 <sup>-2</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,81.10 <sup>-6</sup>	3,50.10 <sup>-6</sup>	1,33.10 <sup>-13</sup>	6,88.10 <sup>-13</sup>	3,18.10 <sup>-15</sup>	0,00	8,22.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	7,11.10 <sup>-8</sup>	6,94.10 <sup>-9</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17.10 <sup>-7</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,22.10 <sup>-43</sup>	1,19.10 <sup>-44</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,71.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,27.10 <sup>-9</sup>	1,76.10 <sup>-10</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	8,15.10 <sup>-9</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	7,70.10 <sup>-57</sup>	5,99.10 <sup>-58</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,77.10 <sup>-56</sup>
<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	3,53.10 <sup>-3</sup>	9,60.10 <sup>-2</sup>	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,95.10 <sup>2</sup>	1,86.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,95.10 <sup>2</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	2,49.10 <sup>-3</sup>	6,79.10 <sup>-2</sup>	1,59.10 <sup>-2</sup>	1,38.10 <sup>2</sup>	1,31.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,38.10 <sup>2</sup>	
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,98	1,25.10 <sup>1</sup>	1,98.10 <sup>-2</sup>	1,44.10 <sup>-2</sup>	6,26.10 <sup>-4</sup>	0,00	2,04.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-1</sup>	5,65.10 <sup>-1</sup>	8,97.10 <sup>-4</sup>	6,51.10 <sup>-4</sup>	2,84.10 <sup>-5</sup>	0,00	9,22.10 <sup>-1</sup>	
<sup>153</sup> Sm	5,27	2,05	2,22.10 <sup>1</sup>	5,03.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,53.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,02.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	3,47.10 <sup>-1</sup>	3,76	8,51.10 <sup>-2</sup>	2,13.10 <sup>-2</sup>	5,98.10 <sup>-4</sup>	0,00	5,11	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,46.10 <sup>-2</sup>	3,78.10 <sup>-1</sup>	9,33.10 <sup>-2</sup>	7,63.10 <sup>1</sup>	3,46.10 <sup>-2</sup>	0,00	7,69.10 <sup>1</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	1,08.10 <sup>-2</sup>	2,79.10 <sup>-1</sup>	6,89.10 <sup>-2</sup>	5,63.10 <sup>1</sup>	2,55.10 <sup>-2</sup>	0,00	5,67.10 <sup>1</sup>	

Tableau 25 : Exposition de l'opérateur - technologie "petit conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès (µSv/crémation)

		Scénario 4 – 1 jour après décès							Scénario 4 – 6 jours après décès								
		Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total	Réception cercueil	Crémation	Injection de réactif neuf	Nettoyage du filtre		Entreposage du fût	Total		
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion		Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	3,57.10 <sup>-1</sup>	6,12.10 <sup>-1</sup>	4,53.10 <sup>-7</sup>	9,73.10 <sup>-9</sup>	2,01.10 <sup>-10</sup>	8,31.10 <sup>-8</sup>	1,38	5,91.10 <sup>-4</sup>	5,11.10 <sup>-4</sup>	8,76.10 <sup>-4</sup>	6,48.10 <sup>-10</sup>	1,39.10 <sup>-11</sup>	2,88.10 <sup>-13</sup>	1,19.10 <sup>-10</sup>	1,98.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	7,48.10 <sup>-1</sup>	9,41	7,15.10 <sup>-1</sup>	2,54.10 <sup>-2</sup>	4,46.10 <sup>-4</sup>	6,80.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>1</sup>	3,63.10 <sup>-1</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	3,25	2,47.10 <sup>-1</sup>	8,78.10 <sup>-3</sup>	1,54.10 <sup>-4</sup>	2,35.10 <sup>-1</sup>	4,36
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,19.10 <sup>-6</sup>	1,49.10 <sup>-7</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,28.10 <sup>-38</sup>	1,60.10 <sup>-39</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,68	3,37.10 <sup>1</sup>	2,61	4,40.10 <sup>-2</sup>	1,25.10 <sup>-3</sup>	2,95	4,69.10 <sup>1</sup>	1,35	1,27	1,17.10 <sup>1</sup>	9,05.10 <sup>-1</sup>	1,52.10 <sup>-2</sup>	4,32.10 <sup>-4</sup>	1,02	1,62.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,44.10 <sup>-1</sup>	1,65.10 <sup>-1</sup>	5,71.10 <sup>-15</sup>	2,32.10 <sup>-17</sup>	4,55.10 <sup>-19</sup>	4,35.10 <sup>-16</sup>	5,52.10 <sup>-1</sup>	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,44.10 <sup>-7</sup>	1,65.10 <sup>-7</sup>	5,70.10 <sup>-21</sup>	2,32.10 <sup>-23</sup>	4,54.10 <sup>-25</sup>	4,35.10 <sup>-22</sup>	5,51.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	1,24	1,42.10 <sup>1</sup>	8,11.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>-2</sup>	3,71.10 <sup>-4</sup>	6,82.10 <sup>-1</sup>	1,87.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>-1</sup>	3,64.10 <sup>-1</sup>	4,18	2,38.10 <sup>-1</sup>	4,51.10 <sup>-3</sup>	1,09.10 <sup>-4</sup>	2,00.10 <sup>-1</sup>	5,50
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,48.10 <sup>-1</sup>	3,65.10 <sup>-1</sup>	4,68.10 <sup>-7</sup>	6,85.10 <sup>-9</sup>	3,38.10 <sup>-10</sup>	7,88.10 <sup>-8</sup>	7,64.10 <sup>-1</sup>	4,60.10 <sup>-4</sup>	2,72.10 <sup>-4</sup>	6,69.10 <sup>-4</sup>	8,59.10 <sup>-10</sup>	1,26.10 <sup>-11</sup>	6,20.10 <sup>-13</sup>	1,45.10 <sup>-10</sup>	1,40.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	5,18	1,06	7,03.10 <sup>-1</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	1,88	9,48	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,91.10 <sup>-1</sup>	3,36	6,90.10 <sup>-1</sup>	4,57.10 <sup>-1</sup>	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,22	6,16
<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	1,70.10 <sup>-1</sup>	2,72	1,92.10 <sup>-1</sup>	2,82.10 <sup>-3</sup>	9,10.10 <sup>-5</sup>	1,57.10 <sup>-1</sup>	3,64	1,26.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>-2</sup>	8,71.10 <sup>-1</sup>	6,14.10 <sup>-2</sup>	9,01.10 <sup>-4</sup>	2,91.10 <sup>-5</sup>	5,02.10 <sup>-2</sup>	1,16	
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	7,27	7,74.10 <sup>1</sup>	3,60	3,36.10 <sup>-1</sup>	5,09.10 <sup>-3</sup>	2,79	1,02.10 <sup>2</sup>	2,69	1,90	2,02.10 <sup>1</sup>	9,38.10 <sup>-1</sup>	8,77.10 <sup>-2</sup>	1,33.10 <sup>-3</sup>	7,29.10 <sup>-1</sup>	2,66.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	1,18.10 <sup>-7</sup>	1,37.10 <sup>-6</sup>	1,45.10 <sup>-7</sup>	6,93.10 <sup>-2</sup>	2,84.10 <sup>-3</sup>	9,62.10 <sup>-8</sup>	7,22.10 <sup>-2</sup>	1,50.10 <sup>-6</sup>	3,23.10 <sup>-8</sup>	3,73.10 <sup>-7</sup>	3,95.10 <sup>-8</sup>	1,89.10 <sup>-2</sup>	7,77.10 <sup>-4</sup>	2,63.10 <sup>-8</sup>	1,97.10 <sup>-2</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	5,68.10 <sup>-7</sup>	6,56.10 <sup>-6</sup>	6,94.10 <sup>-7</sup>	3,33.10 <sup>-1</sup>	1,37.10 <sup>-2</sup>	4,62.10 <sup>-7</sup>	3,46.10 <sup>-1</sup>	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,55.10 <sup>-7</sup>	1,79.10 <sup>-6</sup>	1,89.10 <sup>-7</sup>	9,09.10 <sup>-2</sup>	3,73.10 <sup>-3</sup>	1,26.10 <sup>-7</sup>	9,46.10 <sup>-2</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,75.10 <sup>-6</sup>	2,02.10 <sup>-5</sup>	2,14.10 <sup>-6</sup>	1,03	4,21.10 <sup>-2</sup>	1,42.10 <sup>-6</sup>	1,07	2,22.10 <sup>-5</sup>	4,78.10 <sup>-7</sup>	5,52.10 <sup>-6</sup>	5,84.10 <sup>-7</sup>	2,80.10 <sup>-1</sup>	1,15.10 <sup>-2</sup>	3,89.10 <sup>-7</sup>	2,92.10 <sup>-1</sup>
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	3,46.10 <sup>1</sup>	3,98.10 <sup>2</sup>	2,27.10 <sup>1</sup>	4,29.10 <sup>-1</sup>	1,04.10 <sup>-2</sup>	1,91.10 <sup>1</sup>	5,24.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	1,02.10 <sup>1</sup>	1,17.10 <sup>2</sup>	6,67	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,05.10 <sup>-3</sup>	5,61	1,54.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	5,86	1,04.10 <sup>2</sup>	2,12.10 <sup>1</sup>	1,41.10 <sup>1</sup>	7,27.10 <sup>-1</sup>	3,76.10 <sup>1</sup>	1,90.10 <sup>2</sup>	4,28	3,81	6,73.10 <sup>1</sup>	1,38.10 <sup>1</sup>	9,14	4,72.10 <sup>-1</sup>	2,45.10 <sup>1</sup>	1,23.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,93.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>2</sup>	1,06.10 <sup>2</sup>	7,03.10 <sup>1</sup>	3,63	1,88.10 <sup>2</sup>	9,48.10 <sup>2</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,91.10 <sup>1</sup>	3,36.10 <sup>2</sup>	6,90.10 <sup>1</sup>	4,57.10 <sup>1</sup>	2,36	1,22.10 <sup>2</sup>	6,16.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	5,86.10 <sup>1</sup>	1,04.10 <sup>3</sup>	2,12.10 <sup>2</sup>	1,41.10 <sup>2</sup>	7,27	3,76.10 <sup>2</sup>	1,90.10 <sup>3</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,81.10 <sup>1</sup>	6,73.10 <sup>2</sup>	1,38.10 <sup>2</sup>	9,14.10 <sup>1</sup>	4,72	2,45.10 <sup>2</sup>	1,23.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,79.10 <sup>-4</sup>	9,55.10 <sup>-3</sup>	6,46.10 <sup>-3</sup>	1,29	1,34.10 <sup>-2</sup>	7,95.10 <sup>-3</sup>	1,36	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,23.10 <sup>-4</sup>	6,58.10 <sup>-3</sup>	4,45.10 <sup>-3</sup>	8,86.10 <sup>-1</sup>	9,20.10 <sup>-3</sup>	5,48.10 <sup>-3</sup>	9,35.10 <sup>-1</sup>
	<sup>177</sup> Lu	6,26	4,04	8,60.10 <sup>1</sup>	1,56.10 <sup>1</sup>	1,04.10 <sup>1</sup>	1,29.10 <sup>-1</sup>	2,29.10 <sup>1</sup>	1,45.10 <sup>2</sup>	3,73	2,41	5,13.10 <sup>1</sup>	9,32	6,20	7,71.10 <sup>-2</sup>	1,37.10 <sup>1</sup>	8,67.10 <sup>1</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	1,23.10 <sup>-1</sup>	2,02	2,02.10 <sup>-1</sup>	2,14.10 <sup>-1</sup>	6,90.10 <sup>-3</sup>	2,00.10 <sup>-1</sup>	2,99	8,76.10 <sup>-2</sup>	4,91.10 <sup>-2</sup>	8,09.10 <sup>-1</sup>	8,07.10 <sup>-2</sup>	8,54.10 <sup>-2</sup>	2,76.10 <sup>-3</sup>	8,01.10 <sup>-2</sup>	1,19
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,83	7,61	2,32.10 <sup>-4</sup>	6,58.10 <sup>-5</sup>	3,21.10 <sup>-6</sup>	5,44.10 <sup>-5</sup>	1,42.10 <sup>1</sup>	2,83.10 <sup>-2</sup>	2,12.10 <sup>-2</sup>	5,71.10 <sup>-2</sup>	1,74.10 <sup>-6</sup>	4,93.10 <sup>-7</sup>	2,41.10 <sup>-8</sup>	4,08.10 <sup>-7</sup>	1,07.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	2,04.10 <sup>-2</sup>	3,52.10 <sup>-2</sup>	2,69.10 <sup>-13</sup>	1,42.10 <sup>-11</sup>	3,68.10 <sup>-14</sup>	2,34.10 <sup>-14</sup>	1,06.10 <sup>-1</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,99.10 <sup>-7</sup>	3,44.10 <sup>-7</sup>	2,63.10 <sup>-18</sup>	1,39.10 <sup>-16</sup>	3,59.10 <sup>-19</sup>	2,28.10 <sup>-19</sup>	1,03.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	4,62.10 <sup>-3</sup>	8,95.10 <sup>-3</sup>	3,41.10 <sup>-10</sup>	1,76.10 <sup>-9</sup>	8,13.10 <sup>-12</sup>	4,65.10 <sup>-11</sup>	2,10.10 <sup>-2</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,81.10 <sup>-6</sup>	3,50.10 <sup>-6</sup>	1,33.10 <sup>-13</sup>	6,88.10 <sup>-13</sup>	3,18.10 <sup>-15</sup>	1,82.10 <sup>-14</sup>	8,22.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	7,11.10 <sup>-8</sup>	6,94.10 <sup>-9</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17.10 <sup>-7</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,22.10 <sup>-43</sup>	1,19.10 <sup>-44</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,71.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,27.10 <sup>-9</sup>	1,76.10 <sup>-10</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	8,15.10 <sup>-9</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	7,70.10 <sup>-57</sup>	5,99.10 <sup>-58</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,77.10 <sup>-56</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	3,53.10 <sup>-3</sup>	9,60.10 <sup>-2</sup>	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,95.10 <sup>2</sup>	1,86.10 <sup>-2</sup>	3,86.10 <sup>-2</sup>	1,95.10 <sup>2</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	2,49.10 <sup>-3</sup>	6,79.10 <sup>-2</sup>	1,59.10 <sup>-2</sup>	1,38.10 <sup>2</sup>	1,31.10 <sup>-2</sup>	2,73.10 <sup>-2</sup>	1,38.10 <sup>2</sup>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,98	1,25.10 <sup>1</sup>	1,98.10 <sup>-2</sup>	1,44.10 <sup>-2</sup>	6,26.10 <sup>-4</sup>	7,47.10 <sup>-3</sup>	2,04.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-1</sup>	5,65.10 <sup>-1</sup>	8,97.10 <sup>-4</sup>	6,51.10 <sup>-4</sup>	2,84.10 <sup>-5</sup>	3,38.10 <sup>-4</sup>	9,23.10 <sup>-1</sup>	
<sup>153</sup> Sm	5,27	2,05	2,22.10 <sup>1</sup>	5,03.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,53.10 <sup>-3</sup>	2,67.10 <sup>-1</sup>	3,05.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	3,47.10 <sup>-1</sup>	3,76	8,51.10 <sup>-2</sup>	2,13.10 <sup>-2</sup>	5,98.10 <sup>-4</sup>	4,51.10 <sup>-2</sup>	5,15	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,46.10 <sup>-2</sup>	3,78.10 <sup>-1</sup>	9,33.10 <sup>-2</sup>	7,63.10 <sup>1</sup>	3,46.10 <sup>-2</sup>	1,72.10 <sup>-1</sup>	7,71.10 <sup>1</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	1,08.10 <sup>-2</sup>	2,79.10 <sup>-1</sup>	6,89.10 <sup>-2</sup>	5,63.10 <sup>1</sup>	2,55.10 <sup>-2</sup>	1,27.10 <sup>-1</sup>	5,69.10 <sup>1</sup>	

Tableau 26 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 1 – 1 jour après le décès					Scénario 1 – 6 jours après le décès				
		Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	7,14.10 <sup>-1</sup>	1,09.10 <sup>-1</sup>	0,00	8,29.10 <sup>-1</sup>	9,05.10 <sup>-6</sup>	1,02.10 <sup>-3</sup>	1,56.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,19.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,96	3,14.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,29	4,85.10 <sup>-3</sup>	6,78.10 <sup>-1</sup>	1,09.10 <sup>-1</sup>	0,00	7,91.10 <sup>-1</sup>
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,51.10 <sup>-6</sup>	1,32.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,68.10 <sup>-6</sup>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,63.10 <sup>-38</sup>	1,42.10 <sup>-39</sup>	0,00	1,81.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	7,10	1,13	0,00	8,29	2,23.10 <sup>-2</sup>	2,46	3,91.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,87
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	3,87.10 <sup>-1</sup>	5,63.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,47.10 <sup>-1</sup>	3,14.10 <sup>-9</sup>	3,87.10 <sup>-7</sup>	5,62.10 <sup>-8</sup>	0,00	4,46.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	3,31	5,29.10 <sup>-1</sup>	0,00	3,86	6,89.10 <sup>-3</sup>	9,73.10 <sup>-1</sup>	1,56.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,14
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	4,05.10 <sup>-1</sup>	6,24.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,71.10 <sup>-1</sup>	5,71.10 <sup>-6</sup>	7,43.10 <sup>-4</sup>	1,14.10 <sup>-4</sup>	0,00	8,63.10 <sup>-4</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	6,32.10 <sup>-1</sup>	1,01.10 <sup>-1</sup>	0,00	7,38.10 <sup>-1</sup>	3,22.10 <sup>-3</sup>	4,11.10 <sup>-1</sup>	6,57.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,80.10 <sup>-1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	6,04.10 <sup>-1</sup>	9,75.10 <sup>-2</sup>	0,00	7,06.10 <sup>-1</sup>	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-2</sup>	0,00	2,26.10 <sup>-1</sup>
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	3,12	0,00	2,28.10 <sup>1</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	5,09	8,14.10 <sup>-1</sup>	0,00	5,94
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	4,34.10 <sup>-7</sup>	7,05.10 <sup>-8</sup>	0,00	5,26.10 <sup>-7</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	1,19.10 <sup>-7</sup>	1,92.10 <sup>-8</sup>	0,00	1,44.10 <sup>-7</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	2,08.10 <sup>-6</sup>	3,38.10 <sup>-7</sup>	0,00	2,52.10 <sup>-6</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	5,69.10 <sup>-7</sup>	9,24.10 <sup>-8</sup>	0,00	6,89.10 <sup>-7</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>	1,04.10 <sup>-6</sup>	0,00	7,78.10 <sup>-6</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	2,85.10 <sup>-7</sup>	0,00	2,13.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	9,27.10 <sup>1</sup>	1,48.10 <sup>1</sup>	0,00	1,08.10 <sup>2</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	2,72.10 <sup>1</sup>	4,35	0,00	3,18.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	1,26.10 <sup>1</sup>	2,02	0,00	1,48.10 <sup>1</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	8,21	1,31	0,00	9,59
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	6,32.10 <sup>1</sup>	1,01.10 <sup>1</sup>	0,00	7,38.10 <sup>1</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	4,11.10 <sup>1</sup>	6,57	0,00	4,80.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>2</sup>	2,02.10 <sup>1</sup>	0,00	1,48.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	8,21.10 <sup>1</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	0,00	9,59.10 <sup>1</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,67.10 <sup>-3</sup>	2,77.10 <sup>-4</sup>	0,00	2,07.10 <sup>-3</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	1,91.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,42.10 <sup>-3</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	1,13.10 <sup>1</sup>	1,83	0,00	1,33.10 <sup>1</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	6,77	1,09	0,00	7,91
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	3,79.10 <sup>-1</sup>	6,10.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,43.10 <sup>-1</sup>	1,06.10 <sup>-3</sup>	1,51.10 <sup>-1</sup>	2,44.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,77.10 <sup>-1</sup>
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	6,65	1,03	0,00	7,74	4,08.10 <sup>-4</sup>	4,99.10 <sup>-2</sup>	7,74.10 <sup>-3</sup>	0,00	5,80.10 <sup>-2</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	7,03.10 <sup>-2</sup>	1,05.10 <sup>-2</sup>	0,00	8,14.10 <sup>-2</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	6,87.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	0,00	7,95.10 <sup>-7</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	1,23.10 <sup>-2</sup>	1,87.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,43.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	4,81.10 <sup>-6</sup>	7,32.10 <sup>-7</sup>	0,00	5,58.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	7,76.10 <sup>-8</sup>	6,20.10 <sup>-9</sup>	0,00	8,60.10 <sup>-8</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	1,33.10 <sup>-43</sup>	1,06.10 <sup>-44</sup>	0,00	1,47.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	2,39.10 <sup>-9</sup>	1,50.10 <sup>-10</sup>	0,00	2,63.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	8,14.10 <sup>-57</sup>	5,11.10 <sup>-58</sup>	0,00	8,94.10 <sup>-57</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	1,07.10 <sup>-2</sup>	1,73.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,25.10 <sup>-2</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	7,58.10 <sup>-3</sup>	1,22.10 <sup>-3</sup>	0,00	8,86.10 <sup>-3</sup>
	<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	7,06	1,11	0,00	8,24	3,01.10 <sup>-3</sup>	3,20.10 <sup>-1</sup>	5,03.10 <sup>-2</sup>	0,00	3,73.10 <sup>-1</sup>
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	7,32	1,17	0,00	8,55	9,60.10 <sup>-3</sup>	1,24	1,98.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,45	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	4,04.10 <sup>-2</sup>	6,51.10 <sup>-3</sup>	0,00	4,71.10 <sup>-2</sup>	2,11.10 <sup>-4</sup>	2,98.10 <sup>-2</sup>	4,80.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,48.10 <sup>-2</sup>	

Tableau 27 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 2 – 1 jour après le décès					Scénario 2 – 6 jours après le décès				
		Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	7,14.10 <sup>-1</sup>	1,09.10 <sup>-1</sup>	2,63	3,45	9,05.10 <sup>-6</sup>	1,02.10 <sup>-3</sup>	1,56.10 <sup>-4</sup>	3,76.10 <sup>-3</sup>	4,94.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,96	3,14.10 <sup>-1</sup>	4,36.10 <sup>1</sup>	4,58.10 <sup>1</sup>	4,85.10 <sup>-3</sup>	6,78.10 <sup>-1</sup>	1,09.10 <sup>-1</sup>	1,50.10 <sup>1</sup>	1,58.10 <sup>1</sup>
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,51.10 <sup>-6</sup>	1,32.10 <sup>-7</sup>	2,63.10 <sup>-7</sup>	1,94.10 <sup>-6</sup>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,63.10 <sup>-38</sup>	1,42.10 <sup>-39</sup>	2,84.10 <sup>-39</sup>	2,09.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	7,10	1,13	1,56.10 <sup>2</sup>	1,64.10 <sup>2</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	2,46	3,91.10 <sup>-1</sup>	5,40.10 <sup>1</sup>	5,69.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	3,87.10 <sup>-1</sup>	5,63.10 <sup>-2</sup>	6,39.10 <sup>-1</sup>	1,09	3,14.10 <sup>-9</sup>	3,87.10 <sup>-7</sup>	5,62.10 <sup>-8</sup>	6,39.10 <sup>-7</sup>	1,08.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	3,31	5,29.10 <sup>-1</sup>	6,50.10 <sup>1</sup>	6,89.10 <sup>1</sup>	6,89.10 <sup>-3</sup>	9,73.10 <sup>-1</sup>	1,56.10 <sup>-1</sup>	1,91.10 <sup>1</sup>	2,02.10 <sup>1</sup>
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	4,05.10 <sup>-1</sup>	6,24.10 <sup>-2</sup>	1,57	2,04	5,71.10 <sup>-6</sup>	7,43.10 <sup>-4</sup>	1,14.10 <sup>-4</sup>	2,88.10 <sup>-3</sup>	3,75.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	6,32.10 <sup>-1</sup>	1,01.10 <sup>-1</sup>	2,40.10 <sup>1</sup>	2,48.10 <sup>1</sup>	3,22.10 <sup>-3</sup>	4,11.10 <sup>-1</sup>	6,57.10 <sup>-2</sup>	1,56.10 <sup>1</sup>	1,61.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	6,04.10 <sup>-1</sup>	9,75.10 <sup>-2</sup>	1,34.10 <sup>1</sup>	1,41.10 <sup>1</sup>	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-2</sup>	4,27	4,50
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	3,12	3,55.10 <sup>2</sup>	3,77.10 <sup>2</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	5,09	8,14.10 <sup>-1</sup>	9,26.10 <sup>1</sup>	9,85.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	4,34.10 <sup>-7</sup>	7,05.10 <sup>-8</sup>	1,64.10 <sup>-5</sup>	1,69.10 <sup>-5</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	1,19.10 <sup>-7</sup>	1,92.10 <sup>-8</sup>	4,47.10 <sup>-6</sup>	4,61.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	2,08.10 <sup>-6</sup>	3,38.10 <sup>-7</sup>	7,85.10 <sup>-5</sup>	8,10.10 <sup>-5</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	5,69.10 <sup>-7</sup>	9,24.10 <sup>-8</sup>	2,14.10 <sup>-5</sup>	2,21.10 <sup>-5</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>	1,04.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-4</sup>	2,50.10 <sup>-4</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	2,85.10 <sup>-7</sup>	6,61.10 <sup>-5</sup>	6,82.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	9,27.10 <sup>1</sup>	1,48.10 <sup>1</sup>	1,82.10 <sup>3</sup>	1,93.10 <sup>3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	2,72.10 <sup>1</sup>	4,35	5,35.10 <sup>2</sup>	5,67.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	1,26.10 <sup>1</sup>	2,02	4,81.10 <sup>2</sup>	4,96.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	8,21	1,31	3,13.10 <sup>2</sup>	3,22.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	6,32.10 <sup>1</sup>	1,01.10 <sup>1</sup>	2,40.10 <sup>3</sup>	2,48.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	4,11.10 <sup>1</sup>	6,57	1,56.10 <sup>3</sup>	1,61.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>2</sup>	2,02.10 <sup>1</sup>	4,81.10 <sup>3</sup>	4,96.10 <sup>3</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	8,21.10 <sup>1</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	3,13.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,67.10 <sup>-3</sup>	2,77.10 <sup>-4</sup>	1,84.10 <sup>-1</sup>	1,86.10 <sup>-1</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	1,91.10 <sup>-4</sup>	1,27.10 <sup>-1</sup>	1,28.10 <sup>-1</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	1,13.10 <sup>1</sup>	1,83	4,04.10 <sup>2</sup>	4,17.10 <sup>2</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	6,77	1,09	2,41.10 <sup>2</sup>	2,49.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	3,79.10 <sup>-1</sup>	6,10.10 <sup>-2</sup>	9,62	1,01.10 <sup>1</sup>	1,06.10 <sup>-3</sup>	1,51.10 <sup>-1</sup>	2,44.10 <sup>-2</sup>	3,85	4,02
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	6,65	1,03	3,35.10 <sup>1</sup>	4,13.10 <sup>1</sup>	4,08.10 <sup>-4</sup>	4,99.10 <sup>-2</sup>	7,74.10 <sup>-3</sup>	2,51.10 <sup>-1</sup>	3,09.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	7,03.10 <sup>-2</sup>	1,05.10 <sup>-2</sup>	1,50.10 <sup>-1</sup>	2,31.10 <sup>-1</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	6,87.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	1,46.10 <sup>-6</sup>	2,26.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	1,23.10 <sup>-2</sup>	1,87.10 <sup>-3</sup>	3,81.10 <sup>-2</sup>	5,24.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	4,81.10 <sup>-6</sup>	7,32.10 <sup>-7</sup>	1,49.10 <sup>-5</sup>	2,05.10 <sup>-5</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	7,76.10 <sup>-8</sup>	6,20.10 <sup>-9</sup>	1,10.10 <sup>-8</sup>	9,70.10 <sup>-8</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	1,33.10 <sup>-43</sup>	1,06.10 <sup>-44</sup>	1,89.10 <sup>-44</sup>	1,66.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	2,39.10 <sup>-9</sup>	1,50.10 <sup>-10</sup>	1,95.10 <sup>-10</sup>	2,82.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	8,14.10 <sup>-57</sup>	5,11.10 <sup>-58</sup>	6,63.10 <sup>-58</sup>	9,60.10 <sup>-57</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	1,07.10 <sup>-2</sup>	1,73.10 <sup>-3</sup>	4,64.10 <sup>-1</sup>	4,76.10 <sup>-1</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	7,58.10 <sup>-3</sup>	1,22.10 <sup>-3</sup>	3,28.10 <sup>-1</sup>	3,37.10 <sup>-1</sup>
<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	7,06	1,11	5,88.10 <sup>1</sup>	6,70.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>-3</sup>	3,20.10 <sup>-1</sup>	5,03.10 <sup>-2</sup>	2,66	3,04	
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	7,32	1,17	1,08.10 <sup>2</sup>	1,16.10 <sup>2</sup>	9,60.10 <sup>-3</sup>	1,24	1,98.10 <sup>-1</sup>	1,82.10 <sup>1</sup>	1,96.10 <sup>1</sup>	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	4,04.10 <sup>-2</sup>	6,51.10 <sup>-3</sup>	1,800	1,84	2,11.10 <sup>-4</sup>	2,98.10 <sup>-2</sup>	4,80.10 <sup>-3</sup>	1,33	1,36	

Tableau 28 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 3 – 1 jour après le décès					Scénario 3 – 6 jours après le décès				
		Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (µSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (µSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	7,14.10 <sup>-1</sup>	2,88	0,00	3,60	9,05.10 <sup>-6</sup>	1,02.10 <sup>-3</sup>	4,12.10 <sup>-3</sup>	0,00	5,15.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,96	4,42.10 <sup>1</sup>	0,00	4,61.101	4,85.10 <sup>-3</sup>	6,78.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>1</sup>	0,00	1,59.10 <sup>1</sup>
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,51.10 <sup>-6</sup>	7,00.10 <sup>-7</sup>	0,00	2,25.10-6	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,63.10 <sup>-38</sup>	7,54.10 <sup>-39</sup>	0,00	2,42.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	7,10	1,59.10 <sup>2</sup>	0,00	1,66.102	2,23.10 <sup>-2</sup>	2,46	5,50.10 <sup>1</sup>	0,00	5,75.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	3,87.10 <sup>-1</sup>	7,71.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,16	3,14.10 <sup>-9</sup>	3,87.10 <sup>-7</sup>	7,70.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,16.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	3,31	6,65.10 <sup>1</sup>	0,00	6,98.101	6,89.10 <sup>-3</sup>	9,73.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	0,00	2,05.10 <sup>1</sup>
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	4,05.10 <sup>-1</sup>	1,71	0,00	2,12	5,71.10 <sup>-6</sup>	7,43.10 <sup>-4</sup>	3,14.10 <sup>-3</sup>	0,00	3,89.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	6,32.10 <sup>-1</sup>	2,43.10 <sup>1</sup>	0,00	2,50.101	3,22.10 <sup>-3</sup>	4,11.10 <sup>-1</sup>	1,58.10 <sup>1</sup>	0,00	1,62.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	6,04.10 <sup>-1</sup>	1,30.10 <sup>1</sup>	0,00	1,36.101	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	4,15	0,00	4,34
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	3,62.10 <sup>2</sup>	0,00	3,82.10 <sup>2</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	5,09	9,46.10 <sup>1</sup>	0,00	9,97.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	4,34.10 <sup>-7</sup>	8,44.10 <sup>-6</sup>	0,00	8,89.10 <sup>-6</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	1,19.10 <sup>-7</sup>	2,30.10 <sup>-6</sup>	0,00	2,43.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	2,08.10 <sup>-6</sup>	4,05.10 <sup>-5</sup>	0,00	4,27.10 <sup>-5</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	5,69.10 <sup>-7</sup>	1,11.10 <sup>-5</sup>	0,00	1,17.10 <sup>-5</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>	1,25.10 <sup>-4</sup>	0,00	1,32.10 <sup>-4</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	3,41.10 <sup>-5</sup>	0,00	3,59.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	9,27.10 <sup>1</sup>	1,86.10 <sup>3</sup>	0,00	1,95.10 <sup>3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	2,72.10 <sup>1</sup>	5,47.10 <sup>2</sup>	0,00	5,74.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	1,26.10 <sup>1</sup>	4,87.10 <sup>2</sup>	0,00	4,99.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	8,21	3,16.10 <sup>2</sup>	0,00	3,25.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	6,32.10 <sup>1</sup>	2,43.10 <sup>3</sup>	0,00	2,50.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	4,11.10 <sup>1</sup>	1,58.10 <sup>3</sup>	0,00	1,62.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>2</sup>	4,87.10 <sup>3</sup>	0,00	4,99.10 <sup>3</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	8,21.10 <sup>1</sup>	3,16.10 <sup>3</sup>	0,00	3,25.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,67.10 <sup>-3</sup>	7,07.10 <sup>-2</sup>	0,00	7,25.10 <sup>-2</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	4,87.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,99.10 <sup>-2</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	1,13.10 <sup>1</sup>	4,05.10 <sup>2</sup>	0,00	4,16.10 <sup>2</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	6,77	2,41.10 <sup>2</sup>	0,00	2,48.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	3,79.10 <sup>-1</sup>	9,57	0,00	9,95	1,06.10 <sup>-3</sup>	1,51.10 <sup>-1</sup>	3,82	0,00	3,98
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	6,65	3,58.10 <sup>1</sup>	0,00	4,25.10 <sup>1</sup>	4,08.10 <sup>-4</sup>	4,99.10 <sup>-2</sup>	2,68.10 <sup>-1</sup>	0,00	3,19.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	7,03.10 <sup>-2</sup>	1,67.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,38.10 <sup>-1</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	6,87.10 <sup>-7</sup>	1,63.10 <sup>-6</sup>	0,00	2,33.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	1,23.10 <sup>-2</sup>	4,20.10 <sup>-2</sup>	0,00	5,44.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	4,81.10 <sup>-6</sup>	1,64.10 <sup>-5</sup>	0,00	2,13.10 <sup>-5</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	7,76.10 <sup>-8</sup>	3,27.10 <sup>-8</sup>	0,00	1,13.10 <sup>-7</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	1,33.10 <sup>-43</sup>	5,61.10 <sup>-44</sup>	0,00	1,93.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	2,39.10 <sup>-9</sup>	8,29.10 <sup>-10</sup>	0,00	3,31.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	8,14.10 <sup>-57</sup>	2,82.10 <sup>-57</sup>	0,00	1,12.10 <sup>-56</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	1,07.10 <sup>-2</sup>	4,53.10 <sup>-1</sup>	0,00	4,64.10 <sup>-1</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	7,58.10 <sup>-3</sup>	3,21.10 <sup>-1</sup>	0,00	3,28.10 <sup>-1</sup>
	<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	7,06	5,96.10 <sup>1</sup>	0,00	6,67.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>-3</sup>	3,20.10 <sup>-1</sup>	2,70	0,00	3,02
	<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	7,32	1,06.10 <sup>2</sup>	0,00	1,14.10 <sup>2</sup>	9,60.10 <sup>-3</sup>	1,24	1,80.10 <sup>1</sup>	0,00	1,92.10 <sup>1</sup>
	<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	4,04.10 <sup>-2</sup>	1,78	0,00	1,82	2,11.10 <sup>-4</sup>	2,98.10 <sup>-2</sup>	1,31	0,00	1,34

Tableau 29 : Exposition des autres salariés - technologie "petit conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 4 – 1 jour après le décès					Scénario 4 – 6 jours après le décès				
		Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Exposition filtre	Entreposage du fût	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	7,14.10 <sup>-1</sup>	2,88	3,67.10 <sup>-7</sup>	3,60	9,05.10 <sup>-6</sup>	1,02.10 <sup>-3</sup>	4,12.10 <sup>-3</sup>	5,26.10 <sup>-10</sup>	5,15.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,96	4,42.10 <sup>1</sup>	3,36	4,95.10 <sup>1</sup>	4,85.10 <sup>-3</sup>	6,78.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>1</sup>	1,16	1,71.10 <sup>1</sup>
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,51.10 <sup>-6</sup>	7,00.10 <sup>-7</sup>	0,00	2,25.10 <sup>-6</sup>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,63.10 <sup>-38</sup>	7,54.10 <sup>-39</sup>	0,00	2,42.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	7,10	1,59.10 <sup>2</sup>	1,21.10 <sup>1</sup>	1,78.10 <sup>2</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	2,46	5,50.10 <sup>1</sup>	4,20	6,17.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	3,87.10 <sup>-1</sup>	7,71.10 <sup>-1</sup>	2,22.10 <sup>-15</sup>	1,16	3,14.10 <sup>-9</sup>	3,87.10 <sup>-7</sup>	7,70.10 <sup>-7</sup>	2,22.10 <sup>-21</sup>	1,16.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	3,31	6,65.10 <sup>1</sup>	3,40	7,32.10 <sup>1</sup>	6,89.10 <sup>-3</sup>	9,73.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	9,99.10 <sup>-1</sup>	2,15.10 <sup>1</sup>
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	4,05.10 <sup>-1</sup>	1,71	4,00.10 <sup>-7</sup>	2,12	5,71.10 <sup>-6</sup>	7,43.10 <sup>-4</sup>	3,14.10 <sup>-3</sup>	7,34.10 <sup>-10</sup>	3,89.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	6,32.10 <sup>-1</sup>	2,43.10 <sup>1</sup>	8,51	3,35.10 <sup>1</sup>	3,22.10 <sup>-3</sup>	4,11.10 <sup>-1</sup>	1,58.10 <sup>1</sup>	5,53	2,18.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	6,04.10 <sup>-1</sup>	1,30.10 <sup>1</sup>	8,56.10 <sup>-1</sup>	1,44.10 <sup>1</sup>	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	4,15	2,74.10 <sup>-1</sup>	4,62
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	3,62.10 <sup>2</sup>	1,39.10 <sup>1</sup>	3,96.10 <sup>2</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	5,09	9,46.10 <sup>1</sup>	3,64	1,03.10 <sup>2</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	4,34.10 <sup>-7</sup>	8,44.10 <sup>-6</sup>	7,17.10 <sup>-7</sup>	9,61.10 <sup>-6</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	1,19.10 <sup>-7</sup>	2,30.10 <sup>-6</sup>	1,96.10 <sup>-7</sup>	2,62.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	2,08.10 <sup>-6</sup>	4,05.10 <sup>-5</sup>	3,44.10 <sup>-6</sup>	4,61.10 <sup>-5</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	5,69.10 <sup>-7</sup>	1,11.10 <sup>-5</sup>	9,39.10 <sup>-7</sup>	1,26.10 <sup>-5</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>	1,25.10 <sup>-4</sup>	1,06.10 <sup>-5</sup>	1,42.10 <sup>-4</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	3,41.10 <sup>-5</sup>	2,90.10 <sup>-6</sup>	3,88.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	9,27.10 <sup>1</sup>	1,86.10 <sup>3</sup>	9,51.10 <sup>1</sup>	2,05.10 <sup>3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	2,72.10 <sup>1</sup>	5,47.10 <sup>2</sup>	2,80.10 <sup>1</sup>	6,02.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	1,26.10 <sup>1</sup>	4,87.10 <sup>2</sup>	1,70.10 <sup>2</sup>	6,70.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	8,21	3,16.10 <sup>2</sup>	1,11.10 <sup>2</sup>	4,35.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	6,32.10 <sup>1</sup>	2,43.10 <sup>3</sup>	8,51.10 <sup>2</sup>	3,35.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	4,11.10 <sup>1</sup>	1,58.10 <sup>3</sup>	5,53.10 <sup>2</sup>	2,18.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>2</sup>	4,87.10 <sup>3</sup>	1,70.10 <sup>3</sup>	6,70.10 <sup>3</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	8,21.10 <sup>1</sup>	3,16.10 <sup>3</sup>	1,11.10 <sup>3</sup>	4,35.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,67.10 <sup>-3</sup>	7,07.10 <sup>-2</sup>	7,51.10 <sup>-2</sup>	1,48.10 <sup>-1</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	4,87.10 <sup>-2</sup>	5,17.10 <sup>-2</sup>	1,02.10 <sup>-1</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	1,13.10 <sup>1</sup>	4,05.10 <sup>2</sup>	1,16.10 <sup>2</sup>	5,32.10 <sup>2</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	6,77	2,41.10 <sup>2</sup>	6,94.10 <sup>1</sup>	3,18.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	3,79.10 <sup>-1</sup>	9,57	1,06	1,10.10 <sup>1</sup>	1,06.10 <sup>-3</sup>	1,51.10 <sup>-1</sup>	3,82	4,22.10 <sup>-1</sup>	4,40
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	6,65	3,58.10 <sup>1</sup>	2,54.10 <sup>-4</sup>	4,25.10 <sup>1</sup>	4,08.10 <sup>-4</sup>	4,99.10 <sup>-2</sup>	2,68.10 <sup>-1</sup>	1,90.10 <sup>-6</sup>	3,19.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	7,03.10 <sup>-2</sup>	1,67.10 <sup>-1</sup>	1,26.10 <sup>-13</sup>	2,38.10 <sup>-1</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	6,87.10 <sup>-7</sup>	1,63.10 <sup>-6</sup>	1,23.10 <sup>-18</sup>	2,33.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	1,23.10 <sup>-2</sup>	4,20.10 <sup>-2</sup>	2,34.10 <sup>-10</sup>	5,44.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	4,81.10 <sup>-6</sup>	1,64.10 <sup>-5</sup>	9,15.10 <sup>-14</sup>	2,13.10 <sup>-5</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	7,76.10 <sup>-8</sup>	3,27.10 <sup>-8</sup>	0,00	1,13.10 <sup>-7</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	1,33.10 <sup>-43</sup>	5,61.10 <sup>-44</sup>	0,00	1,93.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	2,39.10 <sup>-9</sup>	8,29.10 <sup>-10</sup>	0,00	3,31.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	8,14.10 <sup>-57</sup>	2,82.10 <sup>-57</sup>	0,00	1,12.10 <sup>-56</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	1,07.10 <sup>-2</sup>	4,53.10 <sup>-1</sup>	2,01.10 <sup>-1</sup>	6,65.10 <sup>-1</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	7,58.10 <sup>-3</sup>	3,21.10 <sup>-1</sup>	1,42.10 <sup>-1</sup>	4,71.10 <sup>-1</sup>
<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	7,06	5,96.10 <sup>1</sup>	3,40.10 <sup>-2</sup>	6,67.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>-3</sup>	3,20.10 <sup>-1</sup>	2,70	1,54.10 <sup>-3</sup>	3,02	
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	7,32	1,06.10 <sup>2</sup>	1,49	1,15.10 <sup>2</sup>	9,60.10 <sup>-3</sup>	1,24	1,80.10 <sup>1</sup>	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>1</sup>	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	4,04.10 <sup>-2</sup>	1,78	8,64.10 <sup>-1</sup>	2,68	2,11.10 <sup>-4</sup>	2,98.10 <sup>-2</sup>	1,31	6,37.10 <sup>-1</sup>	1,98	

## **ANNEXE 7. CREMATION DE DEPOUILLES RADIOACTIVES – TECHNOLOGIE « GRAND CONTENEUR »**

Les tableaux suivants présentent les estimations de dose respectivement pour l'opérateur en charge de la crémation et pour les autres salariés du crématorium équipé d'un traitement de fumées – technologie « grand conteneur ».

Les doses sont exprimées en  $\mu\text{Sv}$  par crémation (les doses inférieures à  $300 \mu\text{Sv}$ , les doses comprises entre  $300 \mu\text{Sv}$  et  $1 \text{ mSv}$  et les doses supérieures à  $1 \text{ mSv}$  sont respectivement en vert, orange et rouge).

Tableau 30 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 1 – 1 jour après le décès				Scénario 1 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-1</sup>	1,02	5,91.10 <sup>-4</sup>	4,19.10 <sup>-4</sup>	4,46.10 <sup>-4</sup>	1,46.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	5,42.10 <sup>-1</sup>	4,33	5,92	3,63.10 <sup>-1</sup>	1,87.10 <sup>-1</sup>	1,49	2,04
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,06.10 <sup>-6</sup>	8,31.10 <sup>-8</sup>	3,38.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,14.10 <sup>-38</sup>	8,95.10 <sup>-40</sup>	3,64.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,10	2,02.10 <sup>1</sup>	2,71.10 <sup>1</sup>	1,35	1,07	6,99	9,40
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,03.10 <sup>-1</sup>	6,82.10 <sup>-2</sup>	4,13.10 <sup>-1</sup>	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	6,81.10 <sup>-8</sup>	4,13.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	8,89.10 <sup>-1</sup>	6,36	9,01	5,18.10 <sup>-1</sup>	2,61.10 <sup>-1</sup>	1,87	2,65
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	1,51.10 <sup>-1</sup>	5,07.10 <sup>-1</sup>	4,60.10 <sup>-4</sup>	1,92.10 <sup>-4</sup>	2,77.10 <sup>-04</sup>	9,29.10 <sup>-4</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,35.10 <sup>-1</sup>	3,93	4,50	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>-1</sup>	2,56	2,920
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	9,74.10 <sup>-2</sup>	9,86.10 <sup>-1</sup>	1,48	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-2</sup>	3,15.10 <sup>-1</sup>	4,72.10 <sup>-1</sup>
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	5,20	3,39.10 <sup>1</sup>	4,94.10 <sup>1</sup>	2,69	1,36	8,85	1,29.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	8,00.10 <sup>-8</sup>	4,34.10 <sup>-7</sup>	6,02.10 <sup>-6</sup>	1,50.10 <sup>-6</sup>	2,19.10 <sup>-8</sup>	1,19.10 <sup>-7</sup>	1,64.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	3,84.10 <sup>-7</sup>	2,09.10 <sup>-6</sup>	2,89.10 <sup>-5</sup>	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,05.10 <sup>-7</sup>	5,69.10 <sup>-7</sup>	7,89.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,18.10 <sup>-6</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>	8,91.10 <sup>-5</sup>	2,22.10 <sup>-5</sup>	3,23.10 <sup>-7</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	2,43.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	2,49.10 <sup>1</sup>	1,78.10 <sup>2</sup>	2,52.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	7,31	5,23.10 <sup>1</sup>	7,42.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	4,69	7,87.10 <sup>1</sup>	9,00.10 <sup>1</sup>	4,28	3,05	5,11.10 <sup>1</sup>	5,85.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,35.10 <sup>1</sup>	3,93.10 <sup>2</sup>	4,50.10 <sup>2</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,53.10 <sup>1</sup>	2,56.10 <sup>2</sup>	2,92.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	4,69.10 <sup>1</sup>	7,87.10 <sup>2</sup>	9,00.10 <sup>2</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,05.10 <sup>1</sup>	5,11.10 <sup>2</sup>	5,85.10 <sup>2</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,55.10 <sup>-5</sup>	7,08.10 <sup>-4</sup>	3,49.10 <sup>-2</sup>	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-5</sup>	4,87.10 <sup>-4</sup>	2,41.10 <sup>-2</sup>
	<sup>177</sup> Lu	6,26	2,82	4,92.10 <sup>1</sup>	5,83.10 <sup>1</sup>	3,73	1,68	2,94.10 <sup>1</sup>	3,48.10 <sup>1</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	8,01.10 <sup>-2</sup>	8,64.10 <sup>-1</sup>	1,16	8,76.10 <sup>-2</sup>	3,20.10 <sup>-2</sup>	3,46.10 <sup>-1</sup>	4,65.10 <sup>-1</sup>
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,18	3,53	9,48	2,83.10 <sup>-2</sup>	1,64.10 <sup>-2</sup>	2,64.10 <sup>-2</sup>	7,11.10 <sup>-2</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	1,19.10 <sup>-2</sup>	1,20.10 <sup>-2</sup>	7,39.10 <sup>-2</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,16.10 <sup>-7</sup>	1,18.10 <sup>-7</sup>	7,22.10 <sup>-7</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	3,30.10 <sup>-3</sup>	3,71.10 <sup>-3</sup>	1,45.10 <sup>-2</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,29.10 <sup>-6</sup>	1,45.10 <sup>-6</sup>	5,65.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	6,51.10 <sup>-8</sup>	4,32.10 <sup>-9</sup>	2,08.10 <sup>-7</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,12.10 <sup>-43</sup>	7,40.10 <sup>-45</sup>	3,57.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,06.10 <sup>-9</sup>	9,92.10 <sup>-11</sup>	7,87.10 <sup>-9</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	6,99.10 <sup>-57</sup>	3,37.10 <sup>-58</sup>	2,67.10 <sup>-56</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	2,32.10 <sup>-3</sup>	6,50.10 <sup>-2</sup>	7,49.10 <sup>-2</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	1,64.10 <sup>-3</sup>	4,60.10 <sup>-2</sup>	5,29.10 <sup>-2</sup>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,31	5,88	1,31.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	2,67.10 <sup>-1</sup>	5,91.10 <sup>-1</sup>	
<sup>153</sup> Sm	5,27	1,18	7,69	1,41.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	2,00.10 <sup>-1</sup>	1,30	2,39	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,03.10 <sup>-2</sup>	2,97.10 <sup>-1</sup>	3,30.10 <sup>-1</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	7,57.10 <sup>-3</sup>	2,19.10 <sup>-1</sup>	2,43.10 <sup>-1</sup>	

Tableau 31 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 2 – 1 jour après le décès				Scénario 2 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-1</sup>	1,02	5,91.10 <sup>-4</sup>	4,19.10 <sup>-4</sup>	6,26.10 <sup>-4</sup>	1,64.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	5,42.10 <sup>-1</sup>	4,33	5,92	3,63.10 <sup>-1</sup>	1,87.10 <sup>-1</sup>	2,24	2,79
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,06.10 <sup>-6</sup>	8,31.10 <sup>-8</sup>	3,38.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,14.10 <sup>-38</sup>	1,26.10 <sup>-39</sup>	3,68.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,10	2,02.10 <sup>1</sup>	2,71.10 <sup>1</sup>	1,35	1,07	9,68	1,21.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,03.10 <sup>-1</sup>	6,82.10 <sup>-2</sup>	4,13.10 <sup>-1</sup>	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	1,03.10 <sup>-7</sup>	4,47.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	8,89.10 <sup>-1</sup>	6,36	9,01	5,18.10 <sup>-1</sup>	2,61.10 <sup>-1</sup>	2,76	3,54
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	1,51.10 <sup>-1</sup>	5,07.10 <sup>-1</sup>	4,60.10 <sup>-4</sup>	1,92.10 <sup>-4</sup>	4,17.10 <sup>-4</sup>	1,07.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,35.10 <sup>-1</sup>	3,93	4,50	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>-1</sup>	3,61	3,98
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	9,74.10 <sup>-2</sup>	9,86.10 <sup>-1</sup>	1,48	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-2</sup>	5,70.10 <sup>-1</sup>	7,27.10 <sup>-1</sup>
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	5,20	3,39.10 <sup>1</sup>	4,94.10 <sup>1</sup>	2,69	1,36	1,32.10 <sup>1</sup>	1,72.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	8,00.10 <sup>-8</sup>	4,34.10 <sup>-7</sup>	6,02.10 <sup>-6</sup>	1,50.10 <sup>-6</sup>	2,19.10 <sup>-8</sup>	4,30.10 <sup>-7</sup>	1,95.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	3,84.10 <sup>-7</sup>	2,09.10 <sup>-6</sup>	2,89.10 <sup>-5</sup>	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,05.10 <sup>-7</sup>	2,06.10 <sup>-6</sup>	9,38.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,18.10 <sup>-6</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>	8,91.10 <sup>-5</sup>	2,22.10 <sup>-5</sup>	3,23.10 <sup>-7</sup>	6,37.10 <sup>-6</sup>	2,89.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	2,49.10 <sup>1</sup>	1,78.10 <sup>2</sup>	2,52.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	7,31	7,72.10 <sup>1</sup>	9,90.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	4,69	7,87.10 <sup>1</sup>	9,00.10 <sup>1</sup>	4,28	3,05	7,22.10 <sup>1</sup>	7,96.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,35.10 <sup>1</sup>	3,93.10 <sup>2</sup>	4,50.10 <sup>2</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,53.10 <sup>1</sup>	3,61.10 <sup>2</sup>	3,98.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	4,69.10 <sup>1</sup>	7,87.10 <sup>2</sup>	9,00.10 <sup>2</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,05.10 <sup>1</sup>	7,22.10 <sup>2</sup>	7,96.10 <sup>2</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,55.10 <sup>-5</sup>	7,08.10 <sup>-4</sup>	3,49.10 <sup>-2</sup>	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-5</sup>	1,54.10 <sup>-2</sup>	3,90.10 <sup>-2</sup>
	<sup>177</sup> Lu	6,26	2,82	4,92.10 <sup>1</sup>	5,83.10 <sup>1</sup>	3,73	1,68	4,50.10 <sup>1</sup>	5,04.10 <sup>1</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	8,01.10 <sup>-2</sup>	8,64.10 <sup>-1</sup>	1,16	8,76.10 <sup>-2</sup>	3,20.10 <sup>-2</sup>	5,57.10 <sup>-1</sup>	6,77.10 <sup>-1</sup>
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,18	3,53	9,48	2,83.10 <sup>-2</sup>	1,64.10 <sup>-2</sup>	3,87.10 <sup>-2</sup>	8,33.10 <sup>-2</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	1,19.10 <sup>-2</sup>	1,20.10 <sup>-2</sup>	7,39.10 <sup>-2</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,16.10 <sup>-7</sup>	2,14.10 <sup>-7</sup>	8,18.10 <sup>-7</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	3,30.10 <sup>-3</sup>	3,71.10 <sup>-3</sup>	1,45.10 <sup>-2</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,29.10 <sup>-6</sup>	2,23.10 <sup>-6</sup>	6,43.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	6,51.10 <sup>-8</sup>	4,32.10 <sup>-9</sup>	2,08.10 <sup>-7</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,12.10 <sup>-43</sup>	1,03.10 <sup>-44</sup>	3,60.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,06.10 <sup>-9</sup>	9,92.10 <sup>-11</sup>	7,87.10 <sup>-9</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	6,99.10 <sup>-57</sup>	4,80.10 <sup>-58</sup>	2,69.10 <sup>-56</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	2,32.10 <sup>-3</sup>	6,50.10 <sup>-2</sup>	7,49.10 <sup>-2</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	1,64.10 <sup>-3</sup>	7,50.10 <sup>-2</sup>	8,19.10 <sup>-2</sup>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,31	5,88	1,31.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	4,11.10 <sup>-1</sup>	7,35.10 <sup>-1</sup>	
<sup>153</sup> Sm	5,27	1,18	7,69	1,41.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	2,00.10 <sup>-1</sup>	2,28	3,37	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,03.10 <sup>-2</sup>	2,97.10 <sup>-1</sup>	3,30.10 <sup>-1</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	7,57.10 <sup>-3</sup>	3,43.10 <sup>-1</sup>	3,67.10 <sup>-1</sup>	

Tableau 32 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 3 – 1 jour après le décès				Scénario 3 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (µSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (µSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	2,62.10 <sup>-1</sup>	<b>9,68.10<sup>-1</sup></b>	5,91.10 <sup>-4</sup>	4,19.10 <sup>-4</sup>	3,76.10 <sup>-4</sup>	<b>1,39.10<sup>-3</sup></b>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	5,42.10 <sup>-1</sup>	1,46	<b>3,06</b>	3,63.10 <sup>-1</sup>	1,87.10 <sup>-1</sup>	5,06.10 <sup>-1</sup>	<b>1,06</b>
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,06.10 <sup>-6</sup>	4,53.10 <sup>-11</sup>	<b>3,30.10<sup>-6</sup></b>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,14.10 <sup>-38</sup>	4,87.10 <sup>-43</sup>	<b>3,56.10<sup>-38</sup></b>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,10	6,33	<b>1,33.10<sup>1</sup></b>	1,35	1,07	2,19	<b>4,61</b>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,03.10 <sup>-1</sup>	4,25.10 <sup>-2</sup>	<b>3,87.10<sup>-1</sup></b>	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	4,24.10 <sup>-8</sup>	<b>3,87.10<sup>-7</sup></b>
	<sup>111</sup> In	1,76	8,89.10 <sup>-1</sup>	2,38	<b>5,03</b>	5,18.10 <sup>-1</sup>	2,61.10 <sup>-1</sup>	6,99.10 <sup>-1</sup>	<b>1,48</b>
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	1,35.10 <sup>-1</sup>	<b>4,91.10<sup>-1</sup></b>	4,60.10 <sup>-4</sup>	1,92.10 <sup>-4</sup>	2,48.10 <sup>-4</sup>	<b>9,00.10<sup>-4</sup></b>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,35.10 <sup>-1</sup>	5,64.10 <sup>-1</sup>	<b>1,13</b>	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>-1</sup>	3,66.10 <sup>-1</sup>	<b>7,33.10<sup>-1</sup></b>
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	9,74.10 <sup>-2</sup>	4,18.10 <sup>-1</sup>	<b>9,09.10<sup>-1</sup></b>	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-2</sup>	1,34.10 <sup>-1</sup>	<b>2,91.10<sup>-1</sup></b>
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	5,20	1,38.10 <sup>1</sup>	<b>2,93.10<sup>1</sup></b>	2,69	1,36	3,60	<b>7,65</b>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	8,00.10 <sup>-8</sup>	3,92.10 <sup>-7</sup>	<b>5,98.10<sup>-6</sup></b>	1,50.10 <sup>-6</sup>	2,19.10 <sup>-8</sup>	1,07.10 <sup>-7</sup>	<b>1,63.10<sup>-6</sup></b>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	3,84.10 <sup>-7</sup>	1,88.10 <sup>-6</sup>	<b>2,87.10<sup>-5</sup></b>	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,05.10 <sup>-7</sup>	5,14.10 <sup>-7</sup>	<b>7,83.10<sup>-6</sup></b>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,18.10 <sup>-6</sup>	5,81.10 <sup>-6</sup>	<b>8,84.10<sup>-5</sup></b>	2,22.10 <sup>-5</sup>	3,23.10 <sup>-7</sup>	1,59.10 <sup>-6</sup>	<b>2,42.10<sup>-5</sup></b>
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	2,49.10 <sup>1</sup>	6,66.10 <sup>1</sup>	<b>1,41.10<sup>2</sup></b>	1,45.10 <sup>1</sup>	7,31	1,96.10 <sup>1</sup>	<b>4,14.10<sup>1</sup></b>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	4,69	1,13.10 <sup>1</sup>	<b>2,26.10<sup>1</sup></b>	4,28	3,05	7,33	<b>1,47.10<sup>1</sup></b>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,35.10 <sup>1</sup>	5,64.10 <sup>1</sup>	<b>1,13.10<sup>2</sup></b>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,53.10 <sup>1</sup>	3,66.10 <sup>1</sup>	<b>7,33.10<sup>1</sup></b>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	4,69.10 <sup>1</sup>	1,13.10 <sup>2</sup>	<b>2,26.10<sup>2</sup></b>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,05.10 <sup>1</sup>	7,33.10 <sup>1</sup>	<b>1,47.10<sup>2</sup></b>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,55.10 <sup>-5</sup>	1,78.10 <sup>-3</sup>	<b>3,60.10<sup>-2</sup></b>	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-5</sup>	1,23.10 <sup>-3</sup>	<b>2,48.10<sup>-2</sup></b>
	<sup>177</sup> Lu	6,26	2,82	8,97	<b>1,80.10<sup>1</sup></b>	3,73	1,68	5,35	<b>1,08.10<sup>1</sup></b>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	8,01.10 <sup>-2</sup>	2,75.10 <sup>-1</sup>	<b>5,74.10<sup>-1</sup></b>	8,76.10 <sup>-2</sup>	3,20.10 <sup>-2</sup>	1,10.10 <sup>-1</sup>	<b>2,30.10<sup>-1</sup></b>
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,18	2,97	<b>8,92</b>	2,83.10 <sup>-2</sup>	1,64.10 <sup>-2</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	<b>6,69.10<sup>-2</sup></b>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	1,19.10 <sup>-2</sup>	1,05.10 <sup>-2</sup>	<b>7,23.10<sup>-2</sup></b>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,16.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	<b>7,06.10<sup>-7</sup></b>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	3,30.10 <sup>-3</sup>	3,32.10 <sup>-3</sup>	<b>1,41.10<sup>-2</sup></b>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,29.10 <sup>-6</sup>	1,30.10 <sup>-6</sup>	<b>5,50.10<sup>-6</sup></b>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	6,51.10 <sup>-8</sup>	7,77.10 <sup>-13</sup>	<b>2,04.10<sup>-7</sup></b>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,12.10 <sup>-43</sup>	1,33.10 <sup>-48</sup>	<b>3,49.10<sup>-43</sup></b>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,06.10 <sup>-9</sup>	6,07.10 <sup>-16</sup>	<b>7,77.10<sup>-9</sup></b>	1,94.10 <sup>-56</sup>	6,99.10 <sup>-57</sup>	2,06.10 <sup>-63</sup>	<b>2,64.10<sup>-56</sup></b>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	2,32.10 <sup>-3</sup>	8,63.10 <sup>-3</sup>	<b>1,85.10<sup>-2</sup></b>	5,33.10 <sup>-3</sup>	1,64.10 <sup>-3</sup>	6,11.10 <sup>-3</sup>	<b>1,31.10<sup>-2</sup></b>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,31	4,33	<b>1,15.10<sup>1</sup></b>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	1,96.10 <sup>-1</sup>	<b>5,21.10<sup>-1</sup></b>	
<sup>153</sup> Sm	5,27	1,18	4,47	<b>1,09.10<sup>1</sup></b>	8,92.10 <sup>-1</sup>	2,00.10 <sup>-1</sup>	7,57.10 <sup>-1</sup>	<b>1,85</b>	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,03.10 <sup>-2</sup>	3,35.10 <sup>-2</sup>	<b>6,63.10<sup>-2</sup></b>	1,66.10 <sup>-2</sup>	7,57.10 <sup>-3</sup>	2,47.10 <sup>-2</sup>	<b>4,89.10<sup>-2</sup></b>	

Tableau 33 : Exposition de l'opérateur - technologie "grand conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 4 – 1 jour après le décès				Scénario 4 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,13.10 <sup>-1</sup>	2,93.10 <sup>-1</sup>	2,17.10 <sup>-1</sup>	9,22.10 <sup>-1</sup>	5,91.10 <sup>-4</sup>	4,19.10 <sup>-4</sup>	3,10.10 <sup>-4</sup>	1,32.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,05	5,42.10 <sup>-1</sup>	5,82	7,41	3,63.10 <sup>-1</sup>	1,87.10 <sup>-1</sup>	2,01	2,56
	<sup>68</sup> Ga	2,24.10 <sup>-6</sup>	1,06.10 <sup>-6</sup>	2,37.10 <sup>-11</sup>	3,30.10 <sup>-6</sup>	2,42.10 <sup>-38</sup>	1,14.10 <sup>-38</sup>	2,55.10 <sup>-43</sup>	3,56.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	3,88	3,10	2,51.10 <sup>1</sup>	3,21.10 <sup>1</sup>	1,35	1,07	8,70	1,11.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	2,42.10 <sup>-1</sup>	1,03.10 <sup>-1</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	3,67.10 <sup>-1</sup>	2,42.10 <sup>-7</sup>	1,02.10 <sup>-7</sup>	2,23.10 <sup>-8</sup>	3,67.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	1,76	8,89.10 <sup>-1</sup>	8,26	1,09.10 <sup>1</sup>	5,18.10 <sup>-1</sup>	2,61.10 <sup>-1</sup>	2,43	3,21
	<sup>123</sup> I	2,51.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	1,15.10 <sup>-1</sup>	4,70.10 <sup>-1</sup>	4,60.10 <sup>-4</sup>	1,92.10 <sup>-4</sup>	2,10.10 <sup>-4</sup>	8,62.10 <sup>-4</sup>
	<sup>131</sup> I	3,29.10 <sup>-1</sup>	2,35.10 <sup>-1</sup>	5,34	5,90	2,14.10 <sup>-1</sup>	1,53.10 <sup>-1</sup>	3,47	3,83
	<sup>201</sup> Tl	3,93.10 <sup>-1</sup>	9,74.10 <sup>-2</sup>	1,58	2,07	1,26.10 <sup>-1</sup>	3,12.10 <sup>-2</sup>	5,04.10 <sup>-1</sup>	6,61.10 <sup>-1</sup>
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,03.10 <sup>1</sup>	5,20	4,39.10 <sup>1</sup>	5,94.10 <sup>1</sup>	2,69	1,36	1,15.10 <sup>1</sup>	1,55.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	5,50.10 <sup>-6</sup>	8,00.10 <sup>-8</sup>	1,35.10 <sup>-6</sup>	6,93.10 <sup>-6</sup>	1,50.10 <sup>-6</sup>	2,19.10 <sup>-8</sup>	3,69.10 <sup>-7</sup>	1,89.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	2,64.10 <sup>-5</sup>	3,84.10 <sup>-7</sup>	6,48.10 <sup>-6</sup>	3,33.10 <sup>-5</sup>	7,21.10 <sup>-6</sup>	1,05.10 <sup>-7</sup>	1,77.10 <sup>-6</sup>	9,09.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	8,15.10 <sup>-5</sup>	1,18.10 <sup>-6</sup>	2,00.10 <sup>-5</sup>	1,03.10 <sup>-4</sup>	2,22.10 <sup>-5</sup>	3,23.10 <sup>-7</sup>	5,46.10 <sup>-6</sup>	2,80.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	4,93.10 <sup>1</sup>	2,49.10 <sup>1</sup>	2,31.10 <sup>2</sup>	3,06.10 <sup>2</sup>	1,45.10 <sup>1</sup>	7,31	6,80.10 <sup>1</sup>	8,98.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	6,58	4,69	1,07.10 <sup>2</sup>	1,18.10 <sup>2</sup>	4,28	3,05	6,94.10 <sup>1</sup>	7,67.10 <sup>1</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	3,29.10 <sup>1</sup>	2,35.10 <sup>1</sup>	5,34.10 <sup>2</sup>	5,90.10 <sup>2</sup>	2,14.10 <sup>1</sup>	1,53.10 <sup>1</sup>	3,47.10 <sup>2</sup>	3,83.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	6,58.10 <sup>1</sup>	4,69.10 <sup>1</sup>	1,07.10 <sup>3</sup>	1,18.10 <sup>3</sup>	4,28.10 <sup>1</sup>	3,05.10 <sup>1</sup>	6,94.10 <sup>2</sup>	7,67.10 <sup>2</sup>
	<sup>169</sup> Er	3,42.10 <sup>-2</sup>	1,55.10 <sup>-5</sup>	2,14.10 <sup>-2</sup>	5,57.10 <sup>-2</sup>	2,36.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-5</sup>	1,48.10 <sup>-2</sup>	3,84.10 <sup>-2</sup>
	<sup>177</sup> Lu	6,26	2,82	7,17.10 <sup>1</sup>	8,08.10 <sup>1</sup>	3,73	1,68	4,28.10 <sup>1</sup>	4,82.10 <sup>1</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,19.10 <sup>-1</sup>	8,01.10 <sup>-2</sup>	1,27	1,57	8,76.10 <sup>-2</sup>	3,20.10 <sup>-2</sup>	5,06.10 <sup>-1</sup>	6,26.10 <sup>-1</sup>
	<sup>188</sup> Re	3,77	2,18	3,05	9,00	2,83.10 <sup>-2</sup>	1,64.10 <sup>-2</sup>	2,28.10 <sup>-2</sup>	6,75.10 <sup>-2</sup>
	<sup>211</sup> At	4,99.10 <sup>-2</sup>	1,19.10 <sup>-2</sup>	5,91.10 <sup>-3</sup>	6,78.10 <sup>-2</sup>	4,88.10 <sup>-7</sup>	1,16.10 <sup>-7</sup>	5,77.10 <sup>-8</sup>	6,62.10 <sup>-7</sup>
	<sup>212</sup> Pb	7,46.10 <sup>-3</sup>	3,30.10 <sup>-3</sup>	2,41.10 <sup>-3</sup>	1,32.10 <sup>-2</sup>	2,92.10 <sup>-6</sup>	1,29.10 <sup>-6</sup>	9,41.10 <sup>-7</sup>	5,15.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	1,39.10 <sup>-7</sup>	6,51.10 <sup>-8</sup>	4,29.10 <sup>-13</sup>	2,04.10 <sup>-7</sup>	2,38.10 <sup>-43</sup>	1,12.10 <sup>-43</sup>	7,35.10 <sup>-49</sup>	3,49.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	5,71.10 <sup>-9</sup>	2,06.10 <sup>-9</sup>	3,77.10 <sup>-16</sup>	7,77.10 <sup>-9</sup>	1,94.10 <sup>-56</sup>	6,99.10 <sup>-57</sup>	1,28.10 <sup>-63</sup>	2,64.10 <sup>-56</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,54.10 <sup>-3</sup>	2,32.10 <sup>-3</sup>	1,03.10 <sup>-1</sup>	1,12.10 <sup>-1</sup>	5,33.10 <sup>-3</sup>	1,64.10 <sup>-3</sup>	7,26.10 <sup>-2</sup>	7,95.10 <sup>-2</sup>
<sup>166</sup> Ho	4,86	2,31	6,49	1,37.10 <sup>1</sup>	2,20.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	2,94.10 <sup>-1</sup>	6,19.10 <sup>-1</sup>	
<sup>153</sup> Sm	5,27	1,18	1,11.10 <sup>1</sup>	1,75.10 <sup>1</sup>	8,92.10 <sup>-1</sup>	2,00.10 <sup>-1</sup>	1,88	2,97	
<sup>223</sup> Ra	2,25.10 <sup>-2</sup>	1,03.10 <sup>-2</sup>	4,52.10 <sup>-1</sup>	4,85.10 <sup>-1</sup>	1,66.10 <sup>-2</sup>	7,57.10 <sup>-3</sup>	3,33.10 <sup>-1</sup>	3,57.10 <sup>-1</sup>	

Tableau 34 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 1 – 1 jour après le décès				Scénario 1 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	5,03.10 <sup>-1</sup>	1,34	1,85	9,05.10 <sup>-6</sup>	7,20.10 <sup>-4</sup>	1,92.10 <sup>-3</sup>	2,65.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,31	2,10.10 <sup>1</sup>	2,23.10 <sup>1</sup>	4,85.10 <sup>-3</sup>	4,52.10 <sup>-1</sup>	7,24	7,70
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,08.10 <sup>-6</sup>	3,58.10 <sup>-7</sup>	1,48.10 <sup>-6</sup>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,17.10 <sup>-38</sup>	3,86.10 <sup>-39</sup>	1,59.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	5,06	8,06.10 <sup>1</sup>	8,57.10 <sup>1</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	1,75	2,79.10 <sup>1</sup>	2,97.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	3,42.10 <sup>-1</sup>	6,03.10 <sup>-1</sup>	3,14.10 <sup>-9</sup>	2,57.10 <sup>-7</sup>	3,41.10 <sup>-7</sup>	6,02.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	2,23	3,11.10 <sup>1</sup>	3,34.10 <sup>1</sup>	6,89.10 <sup>-3</sup>	6,57.10 <sup>-1</sup>	9,15	9,81
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	2,70.10 <sup>-1</sup>	7,53.10 <sup>-1</sup>	1,03	5,71.10 <sup>-6</sup>	4,95.10 <sup>-4</sup>	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,88.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	4,43.10 <sup>-1</sup>	1,74.10 <sup>1</sup>	1,78.10 <sup>1</sup>	3,22.10 <sup>-3</sup>	2,88.10 <sup>-1</sup>	1,13.10 <sup>1</sup>	1,16.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	3,58.10 <sup>-1</sup>	5,39	5,75	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,14.10 <sup>-1</sup>	1,72	1,84
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	1,66.10 <sup>2</sup>	1,79.10 <sup>2</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	3,41	4,33.10 <sup>1</sup>	4,68.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	1,33.10 <sup>-7</sup>	1,73.10 <sup>-6</sup>	1,88.10 <sup>-6</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	3,62.10 <sup>-8</sup>	4,72.10 <sup>-7</sup>	5,14.10 <sup>-7</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	6,37.10 <sup>-7</sup>	8,31.10 <sup>-6</sup>	9,04.10 <sup>-6</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	1,74.10 <sup>-7</sup>	2,27.10 <sup>-6</sup>	2,47.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	1,96.10 <sup>-6</sup>	2,56.10 <sup>-5</sup>	2,79.10 <sup>-5</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	5,36.10 <sup>-7</sup>	6,99.10 <sup>-6</sup>	7,61.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	6,26.10 <sup>1</sup>	8,72.10 <sup>2</sup>	9,35.10 <sup>2</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	1,84.10 <sup>1</sup>	2,56.10 <sup>2</sup>	2,75.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	8,85	3,47.10 <sup>2</sup>	3,56.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	5,75	2,26.10 <sup>2</sup>	2,31.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	4,43.10 <sup>1</sup>	1,74.10 <sup>3</sup>	1,78.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	2,88.10 <sup>1</sup>	1,13.10 <sup>3</sup>	1,16.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	8,85.10 <sup>1</sup>	3,47.10 <sup>3</sup>	3,56.10 <sup>3</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	5,75.10 <sup>1</sup>	2,26.10 <sup>3</sup>	2,31.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,18.10 <sup>-4</sup>	5,51.10 <sup>-3</sup>	5,75.10 <sup>-3</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	8,10.10 <sup>-5</sup>	3,80.10 <sup>-3</sup>	3,96.10 <sup>-3</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	7,46	2,46.10 <sup>2</sup>	2,53.10 <sup>2</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	4,45	1,46.10 <sup>2</sup>	1,51.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	2,41.10 <sup>-1</sup>	4,49	4,74	1,06.10 <sup>-3</sup>	9,64.10 <sup>-2</sup>	1,80	1,89
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	4,52	1,61.10 <sup>1</sup>	2,06.10 <sup>1</sup>	4,08.10 <sup>-4</sup>	3,39.10 <sup>-2</sup>	1,20.10 <sup>-1</sup>	1,55.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	4,14.10 <sup>-2</sup>	6,54.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-1</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	4,05.10 <sup>-7</sup>	6,39.10 <sup>-7</sup>	1,05.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	8,09.10 <sup>-3</sup>	1,83.10 <sup>-2</sup>	2,65.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	3,16.10 <sup>-6</sup>	7,15.10 <sup>-6</sup>	1,04.10 <sup>-5</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	5,64.10 <sup>-8</sup>	1,71.10 <sup>-8</sup>	7,58.10 <sup>-8</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	9,67.10 <sup>-44</sup>	2,94.10 <sup>-44</sup>	1,30.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	1,72.10 <sup>-9</sup>	4,41.10 <sup>-10</sup>	2,24.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	5,83.10 <sup>-57</sup>	1,50.10 <sup>-57</sup>	7,62.10 <sup>-57</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	6,75.10 <sup>-3</sup>	3,31.10 <sup>-1</sup>	3,38.10 <sup>-1</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	4,77.10 <sup>-3</sup>	2,34.10 <sup>-1</sup>	2,39.10 <sup>-1</sup>
	<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	4,61	2,56.10 <sup>1</sup>	3,03.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>-3</sup>	2,09.10 <sup>-1</sup>	1,16	1,37
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	4,42	4,28.10 <sup>1</sup>	4,73.10 <sup>1</sup>	9,60.10 <sup>-3</sup>	7,48.10 <sup>-1</sup>	7,24	8,00	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	2,62.10 <sup>-2</sup>	1,46	1,49	2,11.10 <sup>-4</sup>	1,93.10 <sup>-2</sup>	1,08	1,10	

Tableau 35 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 2 – 1 jour après le décès				Scénario 2 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	5,03.10 <sup>-1</sup>	1,34	1,85	9,05.10 <sup>-6</sup>	7,20.10 <sup>-4</sup>	1,92.10 <sup>-3</sup>	2,65.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,31	2,10.10 <sup>1</sup>	2,23.10 <sup>1</sup>	4,85.10 <sup>-3</sup>	4,52.10 <sup>-1</sup>	7,24	7,70
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,08.10 <sup>-6</sup>	3,58.10 <sup>-7</sup>	1,48.10 <sup>-6</sup>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,17.10 <sup>-38</sup>	3,86.10 <sup>-39</sup>	1,59.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	5,06	8,06.10 <sup>1</sup>	8,57.10 <sup>1</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	1,75	2,79.10 <sup>1</sup>	2,97.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	3,42.10 <sup>-1</sup>	6,03.10 <sup>-1</sup>	3,14.10 <sup>-9</sup>	2,57.10 <sup>-7</sup>	3,41.10 <sup>-7</sup>	6,02.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	2,23	3,11.10 <sup>1</sup>	3,34.10 <sup>1</sup>	6,89.10 <sup>-3</sup>	6,57.10 <sup>-1</sup>	9,15	9,81
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	2,70.10 <sup>-1</sup>	7,53.10 <sup>-1</sup>	1,03	5,71.10 <sup>-6</sup>	4,95.10 <sup>-4</sup>	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,88.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	4,43.10 <sup>-1</sup>	1,74.10 <sup>1</sup>	1,78.10 <sup>1</sup>	3,22.10 <sup>-3</sup>	2,88.10 <sup>-1</sup>	1,13.10 <sup>1</sup>	1,16.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	3,58.10 <sup>-1</sup>	5,3	5,75	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,14.10 <sup>-1</sup>	1,72	1,84
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	1,66.10 <sup>2</sup>	1,79.10 <sup>2</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	3,41	4,33.10 <sup>1</sup>	4,68.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	1,33.10 <sup>-7</sup>	1,73.10 <sup>-6</sup>	1,88.10 <sup>-6</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	3,62.10 <sup>-8</sup>	4,72.10 <sup>-7</sup>	5,14.10 <sup>-7</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	6,37.10 <sup>-7</sup>	8,31.10 <sup>-6</sup>	9,04.10 <sup>-6</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	1,74.10 <sup>-7</sup>	2,27.10 <sup>-6</sup>	2,47.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	1,96.10 <sup>-6</sup>	2,56.10 <sup>-5</sup>	2,79.10 <sup>-5</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	5,36.10 <sup>-7</sup>	6,99.10 <sup>-6</sup>	7,61.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	6,26.10 <sup>1</sup>	8,72.10 <sup>2</sup>	9,35.10 <sup>2</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	1,84.10 <sup>1</sup>	2,56.10 <sup>2</sup>	2,75.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	8,85	3,47.10 <sup>2</sup>	3,56.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	5,75	2,26.10 <sup>2</sup>	2,31.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	4,43.10 <sup>1</sup>	1,74.10 <sup>3</sup>	1,78.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	2,88.10 <sup>1</sup>	1,13.10 <sup>3</sup>	1,16.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	8,85.10 <sup>1</sup>	3,47.10 <sup>3</sup>	3,56.10 <sup>3</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	5,75.10 <sup>1</sup>	2,26.10 <sup>3</sup>	2,31.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,18.10 <sup>-4</sup>	5,51.10 <sup>-3</sup>	5,75.10 <sup>-3</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	8,10.10 <sup>-5</sup>	3,80.10 <sup>-3</sup>	3,96.10 <sup>-3</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	7,46	2,46.10 <sup>2</sup>	2,53.10 <sup>2</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	4,45	1,46.10 <sup>2</sup>	1,51.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	2,41.10 <sup>-1</sup>	4,49	4,74	1,06.10 <sup>-3</sup>	9,64.10 <sup>-2</sup>	1,80	1,89
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	4,52	1,61.10 <sup>1</sup>	2,06.10 <sup>1</sup>	4,08.10 <sup>-4</sup>	3,39.10 <sup>-2</sup>	1,20.10 <sup>-1</sup>	1,55.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	4,14.10 <sup>-2</sup>	6,54.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-1</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	4,05.10 <sup>-7</sup>	6,39.10 <sup>-7</sup>	1,05.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	8,09.10 <sup>-3</sup>	1,83.10 <sup>-2</sup>	2,65.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	3,16.10 <sup>-6</sup>	7,15.10 <sup>-6</sup>	1,04.10 <sup>-5</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	5,64.10 <sup>-8</sup>	1,71.10 <sup>-8</sup>	7,58.10 <sup>-8</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	9,67.10 <sup>-44</sup>	2,94.10 <sup>-44</sup>	1,30.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	1,72.10 <sup>-9</sup>	4,41.10 <sup>-10</sup>	2,24.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	5,83.10 <sup>-57</sup>	1,50.10 <sup>-57</sup>	7,62.10 <sup>-57</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	6,75.10 <sup>-3</sup>	3,31.10 <sup>-1</sup>	3,38.10 <sup>-1</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	4,77.10 <sup>-3</sup>	2,34.10 <sup>-1</sup>	2,39.10 <sup>-1</sup>
<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	4,61	2,56.10 <sup>1</sup>	3,03.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>-3</sup>	2,09.10 <sup>-1</sup>	1,16	1,37	
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	4,42	4,28.10 <sup>1</sup>	4,73.10 <sup>1</sup>	9,60.10 <sup>-3</sup>	7,48.10 <sup>-1</sup>	7,24	8,00	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	2,62.10 <sup>-2</sup>	1,46	1,49	2,11.10 <sup>-4</sup>	1,93.10 <sup>-2</sup>	1,08	1,10	

Tableau 36 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 3 – 1 jour après le décès				Scénario 3 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	5,03.10 <sup>-1</sup>	1,16	<b>1,67</b>	9,05.10 <sup>-6</sup>	7,20.10 <sup>-4</sup>	1,66.10 <sup>-3</sup>	<b>2,39.10<sup>-3</sup></b>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,31	7,23	<b>8,56</b>	4,85.10 <sup>-3</sup>	4,52.10 <sup>-1</sup>	2,50	<b>2,96</b>
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,08.10 <sup>-6</sup>	1,99.10 <sup>-10</sup>	<b>1,12.10<sup>-6</sup></b>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,17.10 <sup>-38</sup>	2,14.10 <sup>-42</sup>	<b>1,20.10<sup>-38</sup></b>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	5,06	2,60.10 <sup>1</sup>	<b>3,11.10<sup>1</sup></b>	2,23.10 <sup>-2</sup>	1,75	9,01	<b>1,08.10<sup>1</sup></b>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	2,16.10 <sup>-1</sup>	<b>4,77.10<sup>-1</sup></b>	3,14.10 <sup>-9</sup>	2,57.10 <sup>-7</sup>	2,16.10 <sup>-7</sup>	<b>4,76.10<sup>-7</sup></b>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	2,23	1,19.10 <sup>1</sup>	<b>1,41.10<sup>1</sup></b>	6,89.10 <sup>-3</sup>	6,57.10 <sup>-1</sup>	3,49	<b>4,15</b>
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	2,70.10 <sup>-1</sup>	6,86.10 <sup>-1</sup>	<b>9,59.10<sup>-1</sup></b>	5,71.10 <sup>-6</sup>	4,95.10 <sup>-4</sup>	1,26.10 <sup>-3</sup>	<b>1,76.10<sup>-3</sup></b>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	4,43.10 <sup>-1</sup>	2,54	<b>2,99</b>	3,22.10 <sup>-3</sup>	2,88.10 <sup>-1</sup>	1,65	<b>1,94</b>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	3,58.10 <sup>-1</sup>	2,29	<b>2,65</b>	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,14.10 <sup>-1</sup>	7,31.10 <sup>-1</sup>	<b>8,47.10<sup>-1</sup></b>
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	6,88.10 <sup>1</sup>	<b>8,20.10<sup>1</sup></b>	3,63.10 <sup>-2</sup>	3,41	1,79.10 <sup>1</sup>	<b>2,14.10<sup>1</sup></b>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	1,33.10 <sup>-7</sup>	2,88.10 <sup>-6</sup>	<b>3,03.10<sup>-6</sup></b>	5,75.10 <sup>-9</sup>	3,62.10 <sup>-8</sup>	7,85.10 <sup>-7</sup>	<b>8,27.10<sup>-7</sup></b>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	6,37.10 <sup>-7</sup>	1,38.10 <sup>-5</sup>	<b>1,45.10<sup>-5</sup></b>	2,76.10 <sup>-8</sup>	1,74.10 <sup>-7</sup>	3,77.10 <sup>-6</sup>	<b>3,97.10<sup>-6</sup></b>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	1,96.10 <sup>-6</sup>	4,26.10 <sup>-5</sup>	<b>4,48.10<sup>-5</sup></b>	8,51.10 <sup>-8</sup>	5,36.10 <sup>-7</sup>	1,16.10 <sup>-5</sup>	<b>1,22.10<sup>-5</sup></b>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	6,26.10 <sup>1</sup>	3,32.10 <sup>2</sup>	<b>3,95.10<sup>2</sup></b>	1,93.10 <sup>-1</sup>	1,84.10 <sup>1</sup>	9,76.10 <sup>1</sup>	<b>1,16.10<sup>2</sup></b>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	8,85	5,09.10 <sup>1</sup>	<b>5,98.10<sup>1</sup></b>	6,43.10 <sup>-2</sup>	5,75	3,31.10 <sup>1</sup>	<b>3,89.10<sup>1</sup></b>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	4,43.10 <sup>1</sup>	2,54.10 <sup>2</sup>	<b>2,99.10<sup>2</sup></b>	3,22.10 <sup>-1</sup>	2,88.10 <sup>1</sup>	1,65.10 <sup>2</sup>	<b>1,94.10<sup>2</sup></b>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	8,85.10 <sup>1</sup>	5,09.10 <sup>2</sup>	<b>5,98.10<sup>2</sup></b>	6,43.10 <sup>-1</sup>	5,75.10 <sup>1</sup>	3,31.10 <sup>2</sup>	<b>3,89.10<sup>2</sup></b>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,18.10 <sup>-4</sup>	1,69.10 <sup>-2</sup>	<b>1,71.10<sup>-2</sup></b>	8,30.10 <sup>-5</sup>	8,10.10 <sup>-5</sup>	1,16.10 <sup>-2</sup>	<b>1,18.10<sup>-2</sup></b>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	7,46	4,56.10 <sup>1</sup>	<b>5,31.10<sup>1</sup></b>	4,83.10 <sup>-2</sup>	4,45	2,72.10 <sup>1</sup>	<b>3,17.10<sup>1</sup></b>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	2,41.10 <sup>-1</sup>	1,45	<b>1,69</b>	1,06.10 <sup>-3</sup>	9,64.10 <sup>-2</sup>	5,80.10 <sup>-1</sup>	<b>6,77.10<sup>-1</sup></b>
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	4,52	1,38.10 <sup>1</sup>	<b>1,84.10<sup>1</sup></b>	4,08.10 <sup>-4</sup>	3,39.10 <sup>-2</sup>	1,04.10 <sup>-1</sup>	<b>1,38.10<sup>-1</sup></b>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	4,14.10 <sup>-2</sup>	5,67.10 <sup>-2</sup>	<b>9,87.10<sup>-2</sup></b>	5,52.10 <sup>-9</sup>	4,05.10 <sup>-7</sup>	5,54.10 <sup>-7</sup>	<b>9,64.10<sup>-7</sup></b>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	8,09.10 <sup>-3</sup>	1,67.10 <sup>-2</sup>	<b>2,49.10<sup>-2</sup></b>	3,82.10 <sup>-8</sup>	3,16.10 <sup>-6</sup>	6,51.10 <sup>-6</sup>	<b>9,72.10<sup>-6</sup></b>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	5,64.10 <sup>-8</sup>	3,14.10 <sup>-12</sup>	<b>5,87.10<sup>-8</sup></b>	3,88.10 <sup>-45</sup>	9,67.10 <sup>-44</sup>	5,39.10 <sup>-48</sup>	<b>1,01.10<sup>-43</sup></b>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	1,72.10 <sup>-9</sup>	2,73.10 <sup>-15</sup>	<b>1,80.10<sup>-9</sup></b>	2,89.10 <sup>-58</sup>	5,83.10 <sup>-57</sup>	9,29.10 <sup>-63</sup>	<b>6,12.10<sup>-57</sup></b>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	6,75.10 <sup>-3</sup>	4,50.10 <sup>-2</sup>	<b>5,18.10<sup>-2</sup></b>	5,59.10 <sup>-5</sup>	4,77.10 <sup>-3</sup>	3,18.10 <sup>-2</sup>	<b>3,67.10<sup>-2</sup></b>
<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	4,61	1,96.10 <sup>1</sup>	<b>2,43.10<sup>1</sup></b>	3,01.10 <sup>-3</sup>	2,09.10 <sup>-1</sup>	8,89.10 <sup>-1</sup>	<b>1,10</b>	
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	4,42	2,50.10 <sup>1</sup>	<b>2,95.10<sup>1</sup></b>	9,60.10 <sup>-3</sup>	7,48.10 <sup>-1</sup>	4,22	<b>4,98</b>	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	2,62.10 <sup>-2</sup>	1,68.10 <sup>-1</sup>	<b>1,95.10<sup>-1</sup></b>	2,11.10 <sup>-4</sup>	1,93.10 <sup>-2</sup>	1,24.10 <sup>-1</sup>	<b>1,44.10<sup>-1</sup></b>	

Tableau 37 : Exposition des autres salariés - technologie "grand conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 4 – 1 jour après le décès				Scénario 4 – 6 jours après le décès			
		Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (µSv/crémation)	Réception cercueil	Crémation	Traitement des fumées	Total (µSv/crémation)
		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	6,32.10 <sup>-3</sup>	5,03.10 <sup>-1</sup>	9,55.10 <sup>-1</sup>	1,46	9,05.10 <sup>-6</sup>	7,20.10 <sup>-4</sup>	1,37.10 <sup>-3</sup>	2,10.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	1,41.10 <sup>-2</sup>	1,31	2,88.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>1</sup>	4,85.10 <sup>-3</sup>	4,52.10 <sup>-1</sup>	9,95	1,04.10 <sup>1</sup>
	<sup>68</sup> Ga	3,46.10 <sup>-8</sup>	1,08.10 <sup>-6</sup>	1,03.10 <sup>-10</sup>	1,12.10 <sup>-6</sup>	3,73.10 <sup>-40</sup>	1,17.10 <sup>-38</sup>	1,11.10 <sup>-42</sup>	1,20.10 <sup>-38</sup>
	<sup>89</sup> Zr	6,45.10 <sup>-2</sup>	5,06	1,03.10 <sup>2</sup>	1,08.10 <sup>2</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	1,75	3,58.10 <sup>1</sup>	3,76.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	3,14.10 <sup>-3</sup>	2,58.10 <sup>-1</sup>	1,13.10 <sup>-1</sup>	3,74.10 <sup>-1</sup>	3,14.10 <sup>-9</sup>	2,57.10 <sup>-7</sup>	1,13.10 <sup>-7</sup>	3,74.10 <sup>-7</sup>
	<sup>111</sup> In	2,35.10 <sup>-2</sup>	2,23	4,13.10 <sup>1</sup>	4,35.10 <sup>1</sup>	6,89.10 <sup>-3</sup>	6,57.10 <sup>-1</sup>	1,21.10 <sup>1</sup>	1,28.10 <sup>1</sup>
	<sup>123</sup> I	3,11.10 <sup>-3</sup>	2,70.10 <sup>-1</sup>	5,81.10 <sup>-1</sup>	8,54.10 <sup>-1</sup>	5,71.10 <sup>-6</sup>	4,95.10 <sup>-4</sup>	1,06.10 <sup>-3</sup>	1,57.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	4,95.10 <sup>-3</sup>	4,43.10 <sup>-1</sup>	2,42.10 <sup>1</sup>	2,46.10 <sup>1</sup>	3,22.10 <sup>-3</sup>	2,88.10 <sup>-1</sup>	1,57.10 <sup>1</sup>	1,60.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	4,31.10 <sup>-3</sup>	3,58.10 <sup>-1</sup>	8,62	8,98	1,38.10 <sup>-3</sup>	1,14.10 <sup>-1</sup>	2,76	2,87
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	1,39.10 <sup>-1</sup>	1,31.10 <sup>1</sup>	2,19.10 <sup>2</sup>	2,33.10 <sup>2</sup>	3,63.10 <sup>-2</sup>	3,41	5,73.10 <sup>1</sup>	6,07.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	2,11.10 <sup>-8</sup>	1,33.10 <sup>-7</sup>	1,00.10 <sup>-5</sup>	1,02.10 <sup>-5</sup>	5,75.10 <sup>-9</sup>	3,62.10 <sup>-8</sup>	2,74.10 <sup>-6</sup>	2,78.10 <sup>-6</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	1,01.10 <sup>-7</sup>	6,37.10 <sup>-7</sup>	4,82.10 <sup>-5</sup>	4,90.10 <sup>-5</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	1,74.10 <sup>-7</sup>	1,32.10 <sup>-5</sup>	1,34.10 <sup>-5</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	3,12.10 <sup>-7</sup>	1,96.10 <sup>-6</sup>	1,49.10 <sup>-4</sup>	1,51.10 <sup>-4</sup>	8,51.10 <sup>-8</sup>	5,36.10 <sup>-7</sup>	4,06.10 <sup>-5</sup>	4,12.10 <sup>-5</sup>
	<sup>111</sup> In	6,57.10 <sup>-1</sup>	6,26.10 <sup>1</sup>	1,16.10 <sup>3</sup>	1,22.10 <sup>3</sup>	1,93.10 <sup>-1</sup>	1,84.10 <sup>1</sup>	3,39.10 <sup>2</sup>	3,58.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	9,90.10 <sup>-2</sup>	8,85	4,83.10 <sup>2</sup>	4,92.10 <sup>2</sup>	6,43.10 <sup>-2</sup>	5,75	3,14.10 <sup>2</sup>	3,20.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	4,95.10 <sup>-1</sup>	4,43.10 <sup>1</sup>	2,42.10 <sup>3</sup>	2,46.10 <sup>3</sup>	3,22.10 <sup>-1</sup>	2,88.10 <sup>1</sup>	1,57.10 <sup>3</sup>	1,60.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	9,90.10 <sup>-1</sup>	8,85.10 <sup>1</sup>	4,83.10 <sup>3</sup>	4,92.10 <sup>3</sup>	6,43.10 <sup>-1</sup>	5,75.10 <sup>1</sup>	3,14.10 <sup>3</sup>	3,20.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,21.10 <sup>-4</sup>	1,18.10 <sup>-4</sup>	2,03.10 <sup>-1</sup>	2,03.10 <sup>-1</sup>	8,30.10 <sup>-5</sup>	8,10.10 <sup>-5</sup>	1,40.10 <sup>-1</sup>	1,40.10 <sup>-1</sup>
	<sup>177</sup> Lu	8,09.10 <sup>-2</sup>	7,46	3,65.10 <sup>2</sup>	3,72.10 <sup>2</sup>	4,83.10 <sup>-2</sup>	4,45	2,18.10 <sup>2</sup>	2,22.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,66.10 <sup>-3</sup>	2,41.10 <sup>-1</sup>	6,69	6,93	1,06.10 <sup>-3</sup>	9,64.10 <sup>-2</sup>	2,67	2,77
	<sup>188</sup> Re	5,44.10 <sup>-2</sup>	4,52	1,42.10 <sup>1</sup>	1,88.10 <sup>1</sup>	4,08.10 <sup>-4</sup>	3,39.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-1</sup>	1,41.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	5,65.10 <sup>-4</sup>	4,14.10 <sup>-2</sup>	3,20.10 <sup>-2</sup>	7,40.10 <sup>-2</sup>	5,52.10 <sup>-9</sup>	4,05.10 <sup>-7</sup>	3,13.10 <sup>-7</sup>	7,23.10 <sup>-7</sup>
	<sup>212</sup> Pb	9,78.10 <sup>-5</sup>	8,09.10 <sup>-3</sup>	1,21.10 <sup>-2</sup>	2,03.10 <sup>-2</sup>	3,82.10 <sup>-8</sup>	3,16.10 <sup>-6</sup>	4,72.10 <sup>-6</sup>	7,93.10 <sup>-6</sup>
	<sup>212</sup> Bi	2,26.10 <sup>-9</sup>	5,64.10 <sup>-8</sup>	1,72.10 <sup>-12</sup>	5,87.10 <sup>-8</sup>	3,88.10 <sup>-45</sup>	9,67.10 <sup>-44</sup>	2,94.10 <sup>-48</sup>	1,01.10 <sup>-43</sup>
	<sup>213</sup> Bi	8,51.10 <sup>-11</sup>	1,72.10 <sup>-9</sup>	1,68.10 <sup>-15</sup>	1,80.10 <sup>-9</sup>	2,89.10 <sup>-58</sup>	5,83.10 <sup>-57</sup>	5,73.10 <sup>-63</sup>	6,12.10 <sup>-57</sup>
	<sup>225</sup> Ac	7,90.10 <sup>-5</sup>	6,75.10 <sup>-3</sup>	5,36.10 <sup>-1</sup>	5,43.10 <sup>-1</sup>	5,59.10 <sup>-5</sup>	4,77.10 <sup>-3</sup>	3,79.10 <sup>-1</sup>	3,84.10 <sup>-1</sup>
	<sup>166</sup> Ho	6,65.10 <sup>-2</sup>	4,61	2,95.10 <sup>1</sup>	3,42.10 <sup>1</sup>	3,01.10 <sup>-3</sup>	2,09.10 <sup>-1</sup>	1,34	1,55
<sup>153</sup> Sm	5,68.10 <sup>-2</sup>	4,42	6,19.10 <sup>1</sup>	6,64.10 <sup>1</sup>	9,60.10 <sup>-3</sup>	7,48.10 <sup>-1</sup>	1,05.10 <sup>1</sup>	1,12.10 <sup>1</sup>	
<sup>223</sup> Ra	2,86.10 <sup>-4</sup>	2,62.10 <sup>-2</sup>	2,27	2,30	2,11.10 <sup>-4</sup>	1,93.10 <sup>-2</sup>	1,68+	1,70	

Tableau 38 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 1 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 1 – 1 jour après le décès					Scénario 1 – 6 jours après le décès						
		Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)	Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>67</sup> Ga	6,14.10 <sup>-16</sup>	3,19.10 <sup>-17</sup>	2,05.10 <sup>-19</sup>	1,03.10 <sup>-16</sup>	0,00	7,49.10 <sup>-16</sup>	2,12.10 <sup>-16</sup>	1,10.10 <sup>-17</sup>	7,09.10 <sup>-20</sup>	3,55.10 <sup>-17</sup>	0,00	2,59.10 <sup>-16</sup>
	<sup>68</sup> Ga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>89</sup> Zr	2,49.10 <sup>-15</sup>	6,16.10 <sup>-17</sup>	6,40.10 <sup>-19</sup>	4,97.10 <sup>-16</sup>	0,00	3,05.10 <sup>-15</sup>	8,64.10 <sup>-16</sup>	2,13.10 <sup>-17</sup>	2,22.10 <sup>-19</sup>	1,72.10 <sup>-16</sup>	0,00	1,06.10 <sup>-15</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>111</sup> In	3,07.10 <sup>-18</sup>	8,50.10 <sup>-20</sup>	7,53.10 <sup>-22</sup>	5,07.10 <sup>-19</sup>	0,00	3,67.10 <sup>-18</sup>	9,03.10 <sup>-19</sup>	2,50.10 <sup>-20</sup>	2,21.10 <sup>-22</sup>	1,49.10 <sup>-19</sup>	0,00	1,08.10 <sup>-18</sup>
	<sup>123</sup> I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>131</sup> I	1,50.10 <sup>-6</sup>	1,46.10 <sup>-6</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	2,78.10 <sup>-7</sup>	0,00	3,26.10 <sup>-6</sup>	9,76.10 <sup>-7</sup>	9,46.10 <sup>-7</sup>	1,79.10 <sup>-8</sup>	1,81.10 <sup>-7</sup>	0,00	2,12.10 <sup>-6</sup>
<sup>201</sup> Tl	1,23.10 <sup>-17</sup>	2,67.10 <sup>-19</sup>	3,17.10 <sup>-21</sup>	1,90.10 <sup>-18</sup>	0,00	1,45.10 <sup>-17</sup>	3,93.10 <sup>-18</sup>	8,55.10 <sup>-20</sup>	1,01.10 <sup>-21</sup>	6,07.10 <sup>-19</sup>	0,00	4,63.10 <sup>-18</sup>	
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	2,53.10 <sup>-19</sup>	3,46.10 <sup>-20</sup>	1,92.10 <sup>-22</sup>	4,17.10 <sup>-20</sup>	0,00	3,30.10 <sup>-19</sup>	6,61.10 <sup>-20</sup>	9,04.10 <sup>-21</sup>	5,02.10 <sup>-23</sup>	1,09.10 <sup>-20</sup>	0,00	8,60.10 <sup>-20</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	6,54.10 <sup>-26</sup>	3,27.10 <sup>-20</sup>	4,92.10 <sup>-22</sup>	7,30.10 <sup>-27</sup>	0,00	3,32.10 <sup>-20</sup>	1,79.10 <sup>-26</sup>	8,92.10 <sup>-21</sup>	1,34.10 <sup>-22</sup>	1,99.10 <sup>-27</sup>	0,00	9,06.10 <sup>-21</sup>
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	3,14.10 <sup>-25</sup>	1,57.10 <sup>-19</sup>	2,36.10 <sup>-21</sup>	3,50.10 <sup>-26</sup>	0,00	1,59.10 <sup>-19</sup>	8,57.10 <sup>-26</sup>	4,28.10 <sup>-20</sup>	6,45.10 <sup>-22</sup>	9,57.10 <sup>-27</sup>	0,00	4,35.10 <sup>-20</sup>
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	9,68.10 <sup>-25</sup>	4,84.10 <sup>-19</sup>	7,28.10 <sup>-21</sup>	1,08.10 <sup>-25</sup>	0,00	4,91.10 <sup>-19</sup>	2,64.10 <sup>-25</sup>	1,32.10 <sup>-19</sup>	1,99.10 <sup>-21</sup>	2,95.10 <sup>-26</sup>	0,00	1,34.10 <sup>-19</sup>
	<sup>111</sup> In	8,61.10 <sup>-17</sup>	2,38.10 <sup>-18</sup>	2,11.10 <sup>-20</sup>	1,42.10 <sup>-17</sup>	0,00	1,03.10 <sup>-16</sup>	2,53.10 <sup>-17</sup>	6,99.10 <sup>-19</sup>	6,20.10 <sup>-21</sup>	4,17.10 <sup>-18</sup>	0,00	3,02.10 <sup>-17</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	3,01.10 <sup>-5</sup>	2,91.10 <sup>-5</sup>	5,52.10 <sup>-7</sup>	5,56.10 <sup>-6</sup>	0,00	6,53.10 <sup>-5</sup>	1,95.10 <sup>-5</sup>	1,89.10 <sup>-5</sup>	3,58.10 <sup>-7</sup>	3,61.10 <sup>-6</sup>	0,00	4,24.10 <sup>-5</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	1,50.10 <sup>-4</sup>	1,46.10 <sup>-4</sup>	2,76.10 <sup>-6</sup>	2,78.10 <sup>-5</sup>	0,00	3,26.10 <sup>-4</sup>	9,76.10 <sup>-5</sup>	9,46.10 <sup>-5</sup>	1,79.10 <sup>-6</sup>	1,81.10 <sup>-5</sup>	0,00	2,12.10 <sup>-4</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	3,01.10 <sup>-4</sup>	2,91.10 <sup>-4</sup>	5,52.10 <sup>-6</sup>	5,56.10 <sup>-5</sup>	0,00	6,53.10 <sup>-4</sup>	1,95.10 <sup>-4</sup>	1,89.10 <sup>-4</sup>	3,58.10 <sup>-6</sup>	3,61.10 <sup>-5</sup>	0,00	4,24.10 <sup>-4</sup>
	<sup>169</sup> Er	1,03.10 <sup>-7</sup>	1,89.10 <sup>-5</sup>	7,21.10 <sup>-8</sup>	9,61.10 <sup>-9</sup>	0,00	1,91.10 <sup>-5</sup>	7,07.10 <sup>-8</sup>	1,30.10 <sup>-5</sup>	4,96.10 <sup>-8</sup>	6,62.10 <sup>-9</sup>	0,00	1,32.10 <sup>-5</sup>
	<sup>177</sup> Lu	1,25.10 <sup>-6</sup>	1,22.10 <sup>-6</sup>	5,57.10 <sup>-9</sup>	2,08.10 <sup>-7</sup>	0,00	2,69.10 <sup>-6</sup>	7,47.10 <sup>-7</sup>	7,28.10 <sup>-7</sup>	3,32.10 <sup>-9</sup>	1,24.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,60.10 <sup>-6</sup>
	<sup>186</sup> Re	2,33.10 <sup>-14</sup>	3,64.10 <sup>-14</sup>	4,31.10 <sup>-16</sup>	3,70.10 <sup>-15</sup>	0,00	6,39.10 <sup>-14</sup>	9,32.10 <sup>-15</sup>	1,46.10 <sup>-14</sup>	1,72.10 <sup>-16</sup>	1,48.10 <sup>-15</sup>	0,00	2,55.10 <sup>-14</sup>
	<sup>188</sup> Re	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>211</sup> At	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>212</sup> Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>212</sup> Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>213</sup> Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>225</sup> Ac	5,48.10 <sup>-7</sup>	6,87.10 <sup>-3</sup>	2,40.10 <sup>-7</sup>	8,96.10 <sup>-8</sup>	0,00	6,87.10 <sup>-3</sup>	3,87.10 <sup>-7</sup>	4,86.10 <sup>-3</sup>	1,70.10 <sup>-7</sup>	6,34.10 <sup>-8</sup>	0,00	4,86.10 <sup>-3</sup>
	<sup>166</sup> Ho	3,98.10 <sup>-47</sup>	4,31.10 <sup>-47</sup>	6,89.10 <sup>-49</sup>	6,84.10 <sup>-48</sup>	0,00	9,05.10 <sup>-47</sup>	1,80.10 <sup>-48</sup>	1,95.10 <sup>-48</sup>	3,12.10 <sup>-50</sup>	3,10.10 <sup>-49</sup>	0,00	4,10.10 <sup>-48</sup>
<sup>153</sup> Sm	1,63.10 <sup>-26</sup>	6,08.10 <sup>-27</sup>	6,26.10 <sup>-29</sup>	2,39.10 <sup>-27</sup>	0,00	2,48.10 <sup>-26</sup>	2,75.10 <sup>-27</sup>	1,03.10 <sup>-27</sup>	1,06.10 <sup>-29</sup>	4,03.10 <sup>-28</sup>	0,00	4,19.10 <sup>-27</sup>	
<sup>223</sup> Ra	9,40.10 <sup>-6</sup>	1,13.10 <sup>-2</sup>	1,87.10 <sup>-6</sup>	1,59.10 <sup>-6</sup>	0,00	1,13.10 <sup>-2</sup>	6,94.10 <sup>-6</sup>	8,31.10 <sup>-3</sup>	1,38.10 <sup>-6</sup>	1,18.10 <sup>-6</sup>	0,00	8,32.10 <sup>-3</sup>	

Tableau 39 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 2 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 2 – 1 jour après le décès					Scénario 2 – 6 jours après le décès							
		Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)	Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)	
		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.		
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>67</sup> Ga	6,14.10 <sup>-16</sup>	3,19.10 <sup>-17</sup>	2,05.10 <sup>-19</sup>	1,03.10 <sup>-16</sup>	2,71.10 <sup>-33</sup>	7,49.10 <sup>-16</sup>	2,12.10 <sup>-16</sup>	1,10.10 <sup>-17</sup>	7,09.10 <sup>-20</sup>	3,55.10 <sup>-17</sup>	9,36.10 <sup>-34</sup>	2,59.10 <sup>-16</sup>	
	<sup>68</sup> Ga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>89</sup> Zr	2,49.10 <sup>-15</sup>	6,16.10 <sup>-17</sup>	6,40.10 <sup>-19</sup>	4,97.10 <sup>-16</sup>	1,47.10 <sup>-32</sup>	3,05.10 <sup>-15</sup>	8,64.10 <sup>-16</sup>	2,13.10 <sup>-17</sup>	2,22.10 <sup>-19</sup>	1,72.10 <sup>-16</sup>	5,10.10 <sup>-33</sup>	1,06.10 <sup>-15</sup>	
	<sup>99m</sup> Tc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>111</sup> In	3,07.10 <sup>-18</sup>	8,50.10 <sup>-20</sup>	7,53.10 <sup>-22</sup>	5,07.10 <sup>-19</sup>	3,95.10 <sup>-38</sup>	3,67.10 <sup>-18</sup>	9,03.10 <sup>-19</sup>	2,50.10 <sup>-20</sup>	2,21.10 <sup>-22</sup>	1,49.10 <sup>-19</sup>	1,16.10 <sup>-38</sup>	1,08.10 <sup>-18</sup>	
	<sup>123</sup> I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>131</sup> I	1,50.10 <sup>-6</sup>	1,46.10 <sup>-6</sup>	2,76.10 <sup>-8</sup>	2,78.10 <sup>-7</sup>	5,77.10 <sup>-14</sup>	3,26.10 <sup>-6</sup>	9,76.10 <sup>-7</sup>	9,46.10 <sup>-7</sup>	1,79.10 <sup>-8</sup>	1,81.10 <sup>-7</sup>	3,75.10 <sup>-14</sup>	2,12.10 <sup>-6</sup>	
	<sup>201</sup> Tl	1,23.10 <sup>-17</sup>	2,67.10 <sup>-19</sup>	3,17.10 <sup>-21</sup>	1,90.10 <sup>-18</sup>	3,12.10 <sup>-36</sup>	1,45.10 <sup>-17</sup>	3,93.10 <sup>-18</sup>	8,55.10 <sup>-20</sup>	1,01.10 <sup>-21</sup>	6,07.10 <sup>-19</sup>	9,98.10 <sup>-37</sup>	4,63.10 <sup>-18</sup>	
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	2,53.10 <sup>-19</sup>	3,46.10 <sup>-20</sup>	1,92.10 <sup>-22</sup>	4,17.10 <sup>-20</sup>	4,50.10 <sup>-41</sup>	3,30.10 <sup>-19</sup>	6,61.10 <sup>-20</sup>	9,04.10 <sup>-21</sup>	5,02.10 <sup>-23</sup>	1,09.10 <sup>-20</sup>	1,17.10 <sup>-41</sup>	8,60.10 <sup>-20</sup>	
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	6,54.10 <sup>-26</sup>	3,27.10 <sup>-20</sup>	4,92.10 <sup>-22</sup>	7,30.10 <sup>-27</sup>	4,03.10 <sup>-47</sup>	3,32.10 <sup>-20</sup>	1,79.10 <sup>-26</sup>	8,92.10 <sup>-21</sup>	1,34.10 <sup>-22</sup>	1,99.10 <sup>-27</sup>	1,10.10 <sup>-47</sup>	9,06.10 <sup>-21</sup>	
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	3,14.10 <sup>-25</sup>	1,57.10 <sup>-19</sup>	2,36.10 <sup>-21</sup>	3,50.10 <sup>-26</sup>	1,94.10 <sup>-46</sup>	1,59.10 <sup>-19</sup>	8,57.10 <sup>-26</sup>	4,28.10 <sup>-20</sup>	6,45.10 <sup>-22</sup>	9,57.10 <sup>-27</sup>	5,29.10 <sup>-47</sup>	4,35.10 <sup>-20</sup>	
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	9,68.10 <sup>-25</sup>	4,84.10 <sup>-19</sup>	7,28.10 <sup>-21</sup>	1,08.10 <sup>-25</sup>	5,97.10 <sup>-46</sup>	4,91.10 <sup>-19</sup>	2,64.10 <sup>-25</sup>	1,32.10 <sup>-19</sup>	1,99.10 <sup>-21</sup>	2,95.10 <sup>-26</sup>	1,63.10 <sup>-46</sup>	1,34.10 <sup>-19</sup>	
	<sup>111</sup> In	8,61.10 <sup>-17</sup>	2,38.10 <sup>-18</sup>	2,11.10 <sup>-20</sup>	1,42.10 <sup>-17</sup>	1,11.10 <sup>-36</sup>	1,03.10 <sup>-16</sup>	2,53.10 <sup>-17</sup>	6,99.10 <sup>-19</sup>	6,20.10 <sup>-21</sup>	4,17.10 <sup>-18</sup>	3,25.10 <sup>-37</sup>	3,02.10 <sup>-17</sup>	
	<sup>131</sup> I (non cancer)	3,01.10 <sup>-5</sup>	2,91.10 <sup>-5</sup>	5,52.10 <sup>-7</sup>	5,56.10 <sup>-6</sup>	1,15.10 <sup>-12</sup>	6,53.10 <sup>-5</sup>	1,95.10 <sup>-5</sup>	1,89.10 <sup>-5</sup>	3,58.10 <sup>-7</sup>	3,61.10 <sup>-6</sup>	7,50.10 <sup>-13</sup>	4,24.10 <sup>-5</sup>	
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	1,50.10 <sup>-4</sup>	1,46.10 <sup>-4</sup>	2,76.10 <sup>-6</sup>	2,78.10 <sup>-5</sup>	5,77.10 <sup>-12</sup>	3,26.10 <sup>-4</sup>	9,76.10 <sup>-5</sup>	9,46.10 <sup>-5</sup>	1,79.10 <sup>-6</sup>	1,81.10 <sup>-5</sup>	3,75.10 <sup>-12</sup>	2,12.10 <sup>-4</sup>	
	<sup>131</sup> I (MIBG)	3,01.10 <sup>-4</sup>	2,91.10 <sup>-4</sup>	5,52.10 <sup>-6</sup>	5,56.10 <sup>-5</sup>	1,15.10 <sup>-11</sup>	6,53.10 <sup>-4</sup>	1,95.10 <sup>-4</sup>	1,89.10 <sup>-4</sup>	3,58.10 <sup>-6</sup>	3,61.10 <sup>-5</sup>	7,50.10 <sup>-12</sup>	4,24.10 <sup>-4</sup>	
	<sup>169</sup> Er	1,03.10 <sup>-7</sup>	1,89.10 <sup>-5</sup>	7,21.10 <sup>-8</sup>	9,61.10 <sup>-9</sup>	1,64.10 <sup>-14</sup>	1,91.10 <sup>-5</sup>	7,07.10 <sup>-8</sup>	1,30.10 <sup>-5</sup>	4,96.10 <sup>-8</sup>	6,62.10 <sup>-9</sup>	1,13.10 <sup>-14</sup>	1,32.10 <sup>-5</sup>	
	<sup>177</sup> Lu	1,25.10 <sup>-6</sup>	1,22.10 <sup>-6</sup>	5,57.10 <sup>-9</sup>	2,08.10 <sup>-7</sup>	1,98.10 <sup>-15</sup>	2,69.10 <sup>-6</sup>	7,47.10 <sup>-7</sup>	7,28.10 <sup>-7</sup>	3,32.10 <sup>-9</sup>	1,24.10 <sup>-7</sup>	1,18.10 <sup>-15</sup>	1,60.10 <sup>-6</sup>	
	<sup>186</sup> Re	2,33.10 <sup>-14</sup>	3,64.10 <sup>-14</sup>	4,31.10 <sup>-16</sup>	3,70.10 <sup>-15</sup>	1,90.10 <sup>-29</sup>	6,39.10 <sup>-14</sup>	9,32.10 <sup>-15</sup>	1,46.10 <sup>-14</sup>	1,72.10 <sup>-16</sup>	1,48.10 <sup>-15</sup>	7,60.10 <sup>-30</sup>	2,55.10 <sup>-14</sup>	
	<sup>188</sup> Re	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>211</sup> At	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>212</sup> Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>212</sup> Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>213</sup> Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<sup>225</sup> Ac	5,48.10 <sup>-7</sup>	6,87.10 <sup>-3</sup>	2,40.10 <sup>-7</sup>	8,96.10 <sup>-8</sup>	3,91.10 <sup>-13</sup>	6,87.10 <sup>-3</sup>	3,87.10 <sup>-7</sup>	4,86.10 <sup>-3</sup>	1,70.10 <sup>-7</sup>	6,34.10 <sup>-8</sup>	2,77.10 <sup>-13</sup>	4,86.10 <sup>-3</sup>	
<sup>166</sup> Ho	3,98.10 <sup>-47</sup>	4,31.10 <sup>-47</sup>	6,89.10 <sup>-49</sup>	6,84.10 <sup>-48</sup>	0,00	9,05.10 <sup>-47</sup>	1,80.10 <sup>-48</sup>	1,95.10 <sup>-48</sup>	3,12.10 <sup>-50</sup>	3,10.10 <sup>-49</sup>	0,00	4,10.10 <sup>-48</sup>		
<sup>153</sup> Sm	1,63.10 <sup>-26</sup>	6,08.10 <sup>-27</sup>	6,26.10 <sup>-29</sup>	2,39.10 <sup>-27</sup>	4,12.10 <sup>-55</sup>	2,48.10 <sup>-26</sup>	2,75.10 <sup>-27</sup>	1,03.10 <sup>-27</sup>	1,06.10 <sup>-29</sup>	4,03.10 <sup>-28</sup>	6,97.10 <sup>-56</sup>	4,19.10 <sup>-27</sup>		
<sup>223</sup> Ra	9,40.10 <sup>-6</sup>	1,13.10 <sup>-2</sup>	1,87.10 <sup>-6</sup>	1,59.10 <sup>-6</sup>	3,23.10 <sup>-11</sup>	1,13.10 <sup>-2</sup>	6,94.10 <sup>-6</sup>	8,31.10 <sup>-3</sup>	1,38.10 <sup>-6</sup>	1,18.10 <sup>-6</sup>	2,38.10 <sup>-11</sup>	8,32.10 <sup>-3</sup>		

Tableau 40 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 3 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 3 – 1 jour après le décès					Scénario 3 – 6 jours après le décès						
		Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)	Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,15	1,33.10 <sup>-1</sup>	1,01.10 <sup>-3</sup>	6,59.10 <sup>-1</sup>	0,00	4,95	5,94.10 <sup>-3</sup>	1,91.10 <sup>-4</sup>	1,44.10 <sup>-6</sup>	9,44.10 <sup>-4</sup>	0,00	7,08.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	2,25.10 <sup>1</sup>	1,17	7,52.10 <sup>-3</sup>	3,77	0,00	2,74.10 <sup>1</sup>	7,76	4,04.10 <sup>-1</sup>	2,60.10 <sup>-3</sup>	1,30	0,00	9,47
	<sup>68</sup> Ga	2,19.10 <sup>-9</sup>	9,63.10 <sup>-12</sup>	1,13.10 <sup>-13</sup>	8,03.10 <sup>-11</sup>	0,00	2,28.10 <sup>-9</sup>	2,36.10 <sup>-41</sup>	1,04.10 <sup>-43</sup>	1,21.10 <sup>-45</sup>	8,65.10 <sup>-43</sup>	0,00	2,45.10 <sup>-41</sup>
	<sup>89</sup> Zr	8,13.10 <sup>1</sup>	2,01	2,09.10 <sup>-2</sup>	1,62.10 <sup>1</sup>	0,00	9,95.10 <sup>1</sup>	2,82.10 <sup>1</sup>	6,96.10 <sup>-1</sup>	7,23.10 <sup>-3</sup>	5,61	0,00	3,45.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	9,16.10 <sup>-1</sup>	5,65.10 <sup>-3</sup>	4,06.10 <sup>-5</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,03	9,14.10 <sup>-7</sup>	5,64.10 <sup>-9</sup>	4,06.10 <sup>-11</sup>	1,04.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,02.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	3,70.10 <sup>1</sup>	1,02	9,06.10 <sup>-3</sup>	6,10	0,00	4,41.10 <sup>1</sup>	1,09.10 <sup>1</sup>	3,00.10 <sup>-1</sup>	2,66.10 <sup>-3</sup>	1,79	0,00	1,30.10 <sup>1</sup>
	<sup>123</sup> I	2,43	5,31.10 <sup>-2</sup>	9,59.10 <sup>-4</sup>	3,42.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,83	4,46.10 <sup>-3</sup>	9,73.10 <sup>-5</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	6,27.10 <sup>-4</sup>	0,00	5,19.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	7,82	7,57	1,43.10 <sup>-1</sup>	1,45	0,00	1,70.10 <sup>1</sup>	5,08	4,92	9,32.10 <sup>-2</sup>	9,39.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,10.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	7,11	1,55.10 <sup>-1</sup>	1,83.10 <sup>-3</sup>	1,10	0,00	8,37	2,27	4,95.10 <sup>-2</sup>	5,86.10 <sup>-4</sup>	3,51.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,68
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	2,15.10 <sup>2</sup>	2,94.10 <sup>1</sup>	1,63.10 <sup>-1</sup>	3,54.10 <sup>1</sup>	0,00	2,80.10 <sup>2</sup>	5,61.10 <sup>1</sup>	7,68	4,26.10 <sup>-2</sup>	9,24	0,00	7,31.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	1,09.10 <sup>-5</sup>	5,47	8,23.10 <sup>-2</sup>	1,22.10 <sup>-6</sup>	0,00	5,55	2,99.10 <sup>-6</sup>	1,49	2,25.10 <sup>-2</sup>	3,34.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,52
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	5,26.10 <sup>-5</sup>	2,63.10 <sup>1</sup>	3,95.10 <sup>-1</sup>	5,86.10 <sup>-6</sup>	0,00	2,67.10 <sup>1</sup>	1,44.10 <sup>-5</sup>	7,17	1,08.10 <sup>-1</sup>	1,60.10 <sup>-6</sup>	0,00	7,28
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	1,62.10 <sup>-4</sup>	8,10.10 <sup>1</sup>	1,22	1,81.10 <sup>-5</sup>	0,00	8,22.10 <sup>1</sup>	4,43.10 <sup>-5</sup>	2,21.10 <sup>1</sup>	3,33.10 <sup>-1</sup>	4,94.10 <sup>-6</sup>	0,00	2,24.10 <sup>1</sup>
	<sup>111</sup> In	1,04.10 <sup>3</sup>	2,86.10 <sup>1</sup>	2,54.10 <sup>-1</sup>	1,71.10 <sup>2</sup>	0,00	1,23.10 <sup>3</sup>	3,04.10 <sup>2</sup>	8,41	7,45.10 <sup>-2</sup>	5,02.10 <sup>1</sup>	0,00	3,63.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	1,56.10 <sup>2</sup>	1,51.10 <sup>2</sup>	2,87	2,89.10 <sup>1</sup>	0,00	3,39.10 <sup>2</sup>	1,02.10 <sup>2</sup>	9,84.10 <sup>1</sup>	1,86	1,88.10 <sup>1</sup>	0,00	2,21.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	7,82.10 <sup>2</sup>	7,57.10 <sup>2</sup>	1,43.10 <sup>1</sup>	1,45.10 <sup>2</sup>	0,00	1,70.10 <sup>3</sup>	5,08.10 <sup>2</sup>	4,92.10 <sup>2</sup>	9,32	9,39.10 <sup>1</sup>	0,00	1,10.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	1,56.10 <sup>3</sup>	1,51.10 <sup>3</sup>	2,87.10 <sup>1</sup>	2,89.10 <sup>2</sup>	0,00	3,39.10 <sup>3</sup>	1,02.10 <sup>3</sup>	9,84.10 <sup>2</sup>	1,86.10 <sup>1</sup>	1,88.10 <sup>2</sup>	0,00	2,21.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	6,57.10 <sup>-2</sup>	1,21.10 <sup>1</sup>	4,61.10 <sup>-2</sup>	6,15.10 <sup>-3</sup>	0,00	1,22.10 <sup>1</sup>	4,53.10 <sup>-2</sup>	8,34	3,18.10 <sup>-2</sup>	4,24.10 <sup>-3</sup>	0,00	8,42
	<sup>177</sup> Lu	1,40.10 <sup>2</sup>	1,36.10 <sup>2</sup>	6,21.10 <sup>-1</sup>	2,32.10 <sup>1</sup>	0,00	3,00.10 <sup>2</sup>	8,33.10 <sup>1</sup>	8,12.10 <sup>1</sup>	3,71.10 <sup>-1</sup>	1,38.10 <sup>1</sup>	0,00	1,79.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	4,50	7,02	8,31.10 <sup>-2</sup>	7,13.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,23.10 <sup>1</sup>	1,80	2,81	3,32.10 <sup>-2</sup>	2,85.10 <sup>-1</sup>	0,00	4,92
	<sup>188</sup> Re	4,75.10 <sup>1</sup>	2,00.10 <sup>1</sup>	3,59.10 <sup>-1</sup>	7,52	0,00	7,54.10 <sup>1</sup>	3,56.10 <sup>-1</sup>	1,50.10 <sup>-1</sup>	2,69.10 <sup>-3</sup>	5,64.10 <sup>-2</sup>	0,00	5,66.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	2,28.10 <sup>-1</sup>	1,84.10 <sup>1</sup>	1,74.10 <sup>-2</sup>	2,66.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,87.10 <sup>1</sup>	2,23.10 <sup>-6</sup>	1,80.10 <sup>-4</sup>	1,70.10 <sup>-7</sup>	2,60.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,82.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Pb	6,14.10 <sup>-2</sup>	4,74.10 <sup>-1</sup>	8,03.10 <sup>-4</sup>	8,37.10 <sup>-3</sup>	0,00	5,45.10 <sup>-1</sup>	2,40.10 <sup>-5</sup>	1,85.10 <sup>-4</sup>	3,14.10 <sup>-7</sup>	3,27.10 <sup>-6</sup>	0,00	2,13.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Bi	3,78.10 <sup>-11</sup>	8,27.10 <sup>-10</sup>	5,23.10 <sup>-14</sup>	1,30.10 <sup>-12</sup>	0,00	8,66.10 <sup>-10</sup>	6,47.10 <sup>-47</sup>	1,42.10 <sup>-45</sup>	8,96.10 <sup>-50</sup>	2,22.10 <sup>-48</sup>	0,00	1,49.10 <sup>-45</sup>
	<sup>213</sup> Bi	4,09.10 <sup>-14</sup>	7,79.10 <sup>-13</sup>	3,60.10 <sup>-17</sup>	8,50.10 <sup>-16</sup>	0,00	8,21.10 <sup>-13</sup>	1,39.10 <sup>-61</sup>	2,65.10 <sup>-60</sup>	1,22.10 <sup>-64</sup>	2,89.10 <sup>-63</sup>	0,00	2,79.10 <sup>-60</sup>
	<sup>225</sup> Ac	1,38.10 <sup>-1</sup>	1,73.10 <sup>3</sup>	6,04.10 <sup>-2</sup>	2,25.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,73.10 <sup>3</sup>	9,73.10 <sup>-2</sup>	1,22.10 <sup>3</sup>	4,27.10 <sup>-2</sup>	1,59.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,22.10 <sup>3</sup>
<sup>166</sup> Ho	6,49.10 <sup>1</sup>	7,03.10 <sup>1</sup>	1,12	1,11.10 <sup>1</sup>	0,00	1,47.10 <sup>2</sup>	2,94	3,18	5,09.10 <sup>-2</sup>	5,05.10 <sup>-1</sup>	0,00	6,68	
<sup>153</sup> Sm	7,99.10 <sup>1</sup>	2,98.10 <sup>1</sup>	3,07.10 <sup>-1</sup>	1,17.10 <sup>1</sup>	0,00	1,22.10 <sup>2</sup>	1,35.10 <sup>1</sup>	5,04	5,20.10 <sup>-2</sup>	1,98	0,00	2,06.10 <sup>1</sup>	
<sup>223</sup> Ra	5,13.10 <sup>-1</sup>	6,14.10 <sup>2</sup>	1,02.10 <sup>-1</sup>	8,68.10 <sup>-2</sup>	0,00	6,15.10 <sup>2</sup>	3,78.10 <sup>-1</sup>	4,53.10 <sup>2</sup>	7,53.10 <sup>-2</sup>	6,41.10 <sup>-2</sup>	0,00	4,54.10 <sup>2</sup>	

Tableau 41 : Exposition de l'agent de maintenance - technologie "grand conteneur" - scénario 4 - 1 jour et 6 jours après le décès

		Scénario 4 – 1 jour après le décès					Scénario 4 – 6 jours après le décès						
		Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)	Vidange trémie			Autres activités	Maintenance suivante	Total (μSv/crémation)
		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.		Expo. Ext.	Inhalation	Ingestion	Expo. Ext.	Expo. Ext.	
Diagnostic	<sup>64</sup> Cu	4,15	1,33.10 <sup>-1</sup>	1,01.10 <sup>-3</sup>	6,59.10 <sup>-1</sup>	0,00	4,95	5,94.10 <sup>-3</sup>	1,91.10 <sup>-4</sup>	1,44.10 <sup>-6</sup>	9,44.10 <sup>-4</sup>	0,00	7,08.10 <sup>-3</sup>
	<sup>67</sup> Ga	2,25.10 <sup>1</sup>	1,17	7,52.10 <sup>-3</sup>	3,77	9,92.10 <sup>-17</sup>	2,74.10 <sup>1</sup>	7,76	4,04.10 <sup>-1</sup>	2,60.10 <sup>-3</sup>	1,30	3,43.10 <sup>-17</sup>	9,47
	<sup>68</sup> Ga	2,19.10 <sup>-9</sup>	9,63.10 <sup>-12</sup>	1,13.10 <sup>-13</sup>	8,03.10 <sup>-11</sup>	0,00	2,28.10 <sup>-9</sup>	2,36.10 <sup>-41</sup>	1,04.10 <sup>-43</sup>	1,21.10 <sup>-45</sup>	8,65.10 <sup>-43</sup>	0,00	2,45.10 <sup>-41</sup>
	<sup>89</sup> Zr	8,13.10 <sup>1</sup>	2,01	2,09.10 <sup>-2</sup>	1,62.10 <sup>1</sup>	4,80.10 <sup>-16</sup>	9,95.10 <sup>1</sup>	2,82.10 <sup>1</sup>	6,96.10 <sup>-1</sup>	7,23.10 <sup>-3</sup>	5,61	1,66.10 <sup>-16</sup>	3,45.10 <sup>1</sup>
	<sup>99m</sup> Tc	9,16.10 <sup>-1</sup>	5,65.10 <sup>-3</sup>	4,06.10 <sup>-5</sup>	1,05.10 <sup>-1</sup>	0,00	1,03	9,14.10 <sup>-7</sup>	5,64.10 <sup>-9</sup>	4,06.10 <sup>-11</sup>	1,04.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,02.10 <sup>-6</sup>
	<sup>111</sup> In	3,70.10 <sup>1</sup>	1,02	9,06.10 <sup>-3</sup>	6,10	4,75.10 <sup>-19</sup>	4,41.10 <sup>1</sup>	1,09.10 <sup>1</sup>	3,00.10 <sup>-1</sup>	2,66.10 <sup>-3</sup>	1,79	1,40.10 <sup>-19</sup>	1,30.10 <sup>1</sup>
	<sup>123</sup> I	2,43	5,31.10 <sup>-2</sup>	9,59.10 <sup>-4</sup>	3,42.10 <sup>-1</sup>	0,00	2,83	4,46.10 <sup>-3</sup>	9,73.10 <sup>-5</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	6,27.10 <sup>-4</sup>	0,00	5,19.10 <sup>-3</sup>
	<sup>131</sup> I	7,82	7,57	1,43.10 <sup>-1</sup>	1,45	3,00.10 <sup>-7</sup>	1,70.10 <sup>1</sup>	5,08	4,92	9,32.10 <sup>-2</sup>	9,39.10 <sup>-1</sup>	1,95.10 <sup>-7</sup>	1,10.10 <sup>1</sup>
	<sup>201</sup> Tl	7,11	1,55.10 <sup>-1</sup>	1,83.10 <sup>-3</sup>	1,10	1,80.10 <sup>-18</sup>	8,37	2,27	4,95.10 <sup>-2</sup>	5,86.10 <sup>-4</sup>	3,51.10 <sup>-1</sup>	5,77.10 <sup>-19</sup>	2,68
Thérapie	<sup>67</sup> Cu	2,15.10 <sup>2</sup>	2,94.10 <sup>1</sup>	1,63.10 <sup>-1</sup>	3,54.10 <sup>1</sup>	3,82.10 <sup>-20</sup>	2,80.10 <sup>2</sup>	5,61.10 <sup>1</sup>	7,68	4,26.10 <sup>-2</sup>	9,24	9,97.10 <sup>-21</sup>	7,31.10 <sup>1</sup>
	<sup>90</sup> Y (synoviorthèse)	1,09.10 <sup>-5</sup>	5,47	8,23.10 <sup>-2</sup>	1,22.10 <sup>-6</sup>	6,75.10 <sup>-27</sup>	5,55	2,99.10 <sup>-6</sup>	1,49	2,25.10 <sup>-2</sup>	3,34.10 <sup>-7</sup>	1,84.10 <sup>-27</sup>	1,52
	<sup>90</sup> Y (Zevalin)	5,26.10 <sup>-5</sup>	2,63.10 <sup>1</sup>	3,95.10 <sup>-1</sup>	5,86.10 <sup>-6</sup>	3,24.10 <sup>-26</sup>	2,67.10 <sup>1</sup>	1,44.10 <sup>-5</sup>	7,17	1,08.10 <sup>-1</sup>	1,60.10 <sup>-6</sup>	8,85.10 <sup>-27</sup>	7,28
	<sup>90</sup> Y (microsphères)	1,62.10 <sup>-4</sup>	8,10.10 <sup>1</sup>	1,22	1,81.10 <sup>-5</sup>	9,99.10 <sup>-26</sup>	8,22.10 <sup>1</sup>	4,43.10 <sup>-5</sup>	2,21.10 <sup>1</sup>	3,33.10 <sup>-1</sup>	4,94.10 <sup>-6</sup>	2,73.10 <sup>-26</sup>	2,24.10 <sup>1</sup>
	<sup>111</sup> In	1,04.10 <sup>3</sup>	2,86.10 <sup>1</sup>	2,54.10 <sup>-1</sup>	1,71.10 <sup>2</sup>	1,33.10 <sup>-17</sup>	1,23.10 <sup>3</sup>	3,04.10 <sup>2</sup>	8,41	7,45.10 <sup>-2</sup>	5,02.10 <sup>1</sup>	3,91.10 <sup>-18</sup>	3,63.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (non cancer)	1,56.10 <sup>2</sup>	1,51.10 <sup>2</sup>	2,87	2,89.10 <sup>1</sup>	6,00.10 <sup>-6</sup>	3,39.10 <sup>2</sup>	1,02.10 <sup>2</sup>	9,84.10 <sup>1</sup>	1,86	1,88.10 <sup>1</sup>	3,90.10 <sup>-6</sup>	2,21.10 <sup>2</sup>
	<sup>131</sup> I (thyroïde)	7,82.10 <sup>2</sup>	7,57.10 <sup>2</sup>	1,43.10 <sup>1</sup>	1,45.10 <sup>2</sup>	3,00.10 <sup>-5</sup>	1,70.10 <sup>3</sup>	5,08.10 <sup>2</sup>	4,92.10 <sup>2</sup>	9,32	9,39.10 <sup>1</sup>	1,95.10 <sup>-5</sup>	1,10.10 <sup>3</sup>
	<sup>131</sup> I (MIBG)	1,56.10 <sup>3</sup>	1,51.10 <sup>3</sup>	2,87.10 <sup>1</sup>	2,89.10 <sup>2</sup>	6,00.10 <sup>-5</sup>	3,39.10 <sup>3</sup>	1,02.10 <sup>3</sup>	9,84.10 <sup>2</sup>	1,86.10 <sup>1</sup>	1,88.10 <sup>2</sup>	3,90.10 <sup>-5</sup>	2,21.10 <sup>3</sup>
	<sup>169</sup> Er	6,57.10 <sup>-2</sup>	1,21.10 <sup>1</sup>	4,61.10 <sup>-2</sup>	6,15.10 <sup>-3</sup>	1,05.10 <sup>-8</sup>	1,22.10 <sup>1</sup>	4,53.10 <sup>-2</sup>	8,34	3,18.10 <sup>-2</sup>	4,24.10 <sup>-3</sup>	7,22.10 <sup>-9</sup>	8,42
	<sup>177</sup> Lu	1,40.10 <sup>2</sup>	1,36.10 <sup>2</sup>	6,21.10 <sup>-1</sup>	2,32.10 <sup>1</sup>	2,21.10 <sup>-7</sup>	3,00.10 <sup>2</sup>	8,33.10 <sup>1</sup>	8,12.10 <sup>1</sup>	3,71.10 <sup>-1</sup>	1,38.10 <sup>1</sup>	1,32.10 <sup>-7</sup>	1,79.10 <sup>2</sup>
	<sup>186</sup> Re	4,50	7,02	8,31.10 <sup>-2</sup>	7,13.10 <sup>-1</sup>	3,66.10 <sup>-15</sup>	1,23.10 <sup>1</sup>	1,80	2,81	3,32.10 <sup>-2</sup>	2,85.10 <sup>-1</sup>	1,46.10 <sup>-15</sup>	4,92
	<sup>188</sup> Re	4,75.10 <sup>1</sup>	2,00.10 <sup>1</sup>	3,59.10 <sup>-1</sup>	7,52	0,00	7,54.10 <sup>1</sup>	3,56.10 <sup>-1</sup>	1,50.10 <sup>-1</sup>	2,69.10 <sup>-3</sup>	5,64.10 <sup>-2</sup>	0,00	5,66.10 <sup>-1</sup>
	<sup>211</sup> At	2,28.10 <sup>-1</sup>	1,84.10 <sup>1</sup>	1,74.10 <sup>-2</sup>	2,66.10 <sup>-2</sup>	0,00	1,87.10 <sup>1</sup>	2,23.10 <sup>-6</sup>	1,80.10 <sup>-4</sup>	1,70.10 <sup>-7</sup>	2,60.10 <sup>-7</sup>	0,00	1,82.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Pb	6,14.10 <sup>-2</sup>	4,74.10 <sup>-1</sup>	8,03.10 <sup>-4</sup>	8,37.10 <sup>-3</sup>	0,00	5,45.10 <sup>-1</sup>	2,40.10 <sup>-5</sup>	1,85.10 <sup>-4</sup>	3,14.10 <sup>-7</sup>	3,27.10 <sup>-6</sup>	0,00	2,13.10 <sup>-4</sup>
	<sup>212</sup> Bi	3,78.10 <sup>-11</sup>	8,27.10 <sup>-10</sup>	5,23.10 <sup>-14</sup>	1,30.10 <sup>-12</sup>	0,00	8,66.10 <sup>-10</sup>	6,47.10 <sup>-47</sup>	1,42.10 <sup>-45</sup>	8,96.10 <sup>-50</sup>	2,22.10 <sup>-48</sup>	0,00	1,49.10 <sup>-45</sup>
	<sup>213</sup> Bi	4,09.10 <sup>-14</sup>	7,79.10 <sup>-13</sup>	3,60.10 <sup>-17</sup>	8,50.10 <sup>-16</sup>	0,00	8,21.10 <sup>-13</sup>	1,39.10 <sup>-61</sup>	2,65.10 <sup>-60</sup>	1,22.10 <sup>-64</sup>	2,89.10 <sup>-63</sup>	0,00	2,79.10 <sup>-60</sup>
	<sup>225</sup> Ac	1,38.10 <sup>-1</sup>	1,73.10 <sup>3</sup>	6,04.10 <sup>-2</sup>	2,25.10 <sup>2</sup>	9,82.10 <sup>-8</sup>	1,73.10 <sup>3</sup>	9,73.10 <sup>-2</sup>	1,22.10 <sup>3</sup>	4,27.10 <sup>-2</sup>	1,59.10 <sup>-2</sup>	6,95.10 <sup>-8</sup>	1,22.10 <sup>3</sup>
	<sup>166</sup> Ho	6,49.10 <sup>1</sup>	7,03.10 <sup>1</sup>	1,12	1,11.10 <sup>1</sup>	4,58.10 <sup>-48</sup>	1,47.10 <sup>2</sup>	2,94	3,18	5,09.10 <sup>-2</sup>	5,05.10 <sup>-1</sup>	2,08.10 <sup>-49</sup>	6,68
<sup>153</sup> Sm	7,99.10 <sup>1</sup>	2,98.10 <sup>1</sup>	3,07.10 <sup>-1</sup>	1,17.10 <sup>1</sup>	2,02.10 <sup>-27</sup>	1,22.10 <sup>2</sup>	1,35.10 <sup>1</sup>	5,04	5,20.10 <sup>-2</sup>	1,98	3,42.10 <sup>-28</sup>	2,06.10 <sup>1</sup>	
<sup>223</sup> Ra	5,13.10 <sup>-1</sup>	6,14.10 <sup>2</sup>	1,02.10 <sup>-1</sup>	8,68.10 <sup>-2</sup>	1,76.10 <sup>-6</sup>	6,15.10 <sup>2</sup>	3,78.10 <sup>-1</sup>	4,53.10 <sup>2</sup>	7,53.10 <sup>-2</sup>	6,41.10 <sup>-2</sup>	1,30.10 <sup>-6</sup>	4,54.10 <sup>2</sup>	







**IRSN**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

31 av. de la division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
RCS Nanterre B 440 546 018

**COURRIER**

B.P 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses

**TÉLÉPHONE**

+33 (0)1 58 35 88 88

**SITE INTERNET**

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

MEMBRE DE  
**ETSON**