

## Le contrôle des rejets hospitaliers

Hors industrie nucléaire, diverses structures (hospitalières, de recherche ou industrielles) peuvent avoir recours à l'utilisation de radio-isotopes. Conditionnés sous forme gazeuse ou plus fréquemment liquide, ces radioéléments constituent des sources dites « non scellées ». Leur emploi dans des conditions normales entraîne souvent la dispersion des radio-isotopes dans l'environnement dans le respect, par les utilisateurs, d'un dispositif réglementaire.

C'est le cas, par exemple, du domaine médical. Au sein de certaines structures hospitalières, plusieurs services ou entités peuvent être le lieu de mise en œuvre des sources radioactives non scellées à des fins thérapeutiques, de diagnostic ou de recherche.

C'est pourquoi, à la demande de la ville de Caen, le laboratoire de l'ACRO contrôle, depuis 2002, les effluents en sortie d'établissements hospitaliers. Il s'agit de caractériser et de quantifier les radionucléides artificiels, potentiellement rejetés avec les eaux usées.

Nous vous proposons ici de vous présenter l'utilisation des propriétés de la radioactivité dans le domaine médical, la législation en vigueur vis-à-vis des déchets produits, puis enfin, un bilan des contrôles réalisés jusqu'à maintenant.

### Utilisation d'éléments radioactifs dans les services hospitaliers et de recherche

#### En médecine nucléaire

Un service de médecine nucléaire peut être conduit à utiliser des radio-isotopes soit à des fins thérapeutiques, soit dans un but de diagnostic. Dans le premier cas de figure, les activités mises en œuvre sont nettement plus importantes.

Les produits radioactifs qui sont injectés aux patients sont, en fait, très souvent liés à un « traceur » (molécule) présentant une spécificité pour un organe ou une grande fonction physiologique. Aussi, parle-t-on généralement de « produits radiopharmaceutiques ».

#### ► Actes thérapeutiques

Les actes thérapeutiques mettent à profit l'action destructrice des rayonnements ionisants sur les cellules vivantes. Pour ce faire, le médecin nucléaire administre au patient soit des émetteurs bêta purs de haute énergie, soit des émetteurs bêta-gamma. Les plus courants sont présentés dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Exemples de radioéléments utilisés en thérapie.

radionucléide	application
iode 131	traitement des cancers thyroïdiens traitement des hyperthyroïdies
phosphore 32	traitement des polyglobulies <sup>1</sup>
strontium 89	traitement de la douleur des métastases osseuses
rhénium 186	
samarium 153	
yttrium 90	traitement des articulations osseuses
erbium 169	

Dans ce contexte, les activités mises en œuvre peuvent être importantes. A titre d'exemple, le traitement d'un cancer thyroïdien nécessite l'emploi de 3700 MBq (100 mCi) d'iode 131.

<sup>1</sup> Anomalie de la production des globules rouges.

### ► Actes de diagnostic « in vivo »

L'objectif est ici de produire une « image » grâce à l'emploi d'une gamma-caméra. Aussi, pour pouvoir « voir » en profondeur un organe ou mettre en évidence sa fonction, il convient que le pouvoir pénétrant des rayonnements soit élevé.

Les radio-isotopes utilisés en imagerie sont donc le plus souvent, soit des émetteurs gamma, soit des émetteurs bêta-gamma. L'objet de leur utilisation est rapporté sommairement dans le tableau 2.

**Tableau 2** : Principaux radionucléides utilisés en diagnostic *in vivo*.

Radionucléide	Application
technétium 99m	explorations fonctionnelles et scintigraphies de nombreux organes (foie, rate, os, poumon, cœur, rein, cerveau...) selon le vecteur utilisé.
thallium 201	examen du muscle cardiaque
Iodes 131 et 123	examen de la thyroïde
Xénon 133	examen des poumons
Gallium 67	détection des foyers inflammatoires et cancéreux
Indium 111	scintigraphie de la moelle osseuse
Chrome 51	Etude de la clearance rénale
Fer 59	étude de métabolisme (fer)
Calcium 45	étude de métabolisme (os)
Cobalt 58 et 57	étude de métabolisme (test de Schilling)

Pour ces examens de diagnostic, les activités mises en œuvre sont variables selon le radio-isotope, de quelques MBq (dizaines de  $\mu\text{Ci}$ ) à quelques centaines de MBq (dizaines de mCi).

Si l'iode 131 a été fortement employé dans le passé, il est aujourd'hui largement supplanté par l'utilisation du technétium 99m (90% des actes de diagnostics).

Outre la nature du rayonnement, il est également important de connaître la période physique du traceur : celle-ci doit être suffisamment longue pour permettre de suivre un processus physiologique et suffisamment courte pour éviter une irradiation inutile du patient et de son entourage. L'énergie du photon gamma conditionne, quant à lui, la bonne efficacité de la détection. Il est donc nécessaire de concilier les paramètres biologiques, chimiques et physiques dans le choix du traceur.

Lorsque des centres sont équipés de cyclotrons (pour la production des isotopes) et de caméras à positons (TEP, pour leur détection), d'autres types d'examens de radiodiagnostic sont alors possibles. Ils mettent en œuvre des radio-isotopes à vie très courte tels que l'Oxygène 15, le Carbone 11, le Fluor 18, etc., qui sont souvent produits sur place. Parce que leur période physique est très brève (de quelques minutes à 2 heures), il est vraisemblable que, dans des conditions normales de fonctionnement, leur impact environnemental soit pratiquement imperceptible. Aujourd'hui, le fluor 18 couplé au déoxyglucose (radiotraceur appelé 18-FDG) est de plus en plus utilisé dans les services de médecine nucléaire en vue de diagnostiquer des foyers tumoraux ou de rechercher des métastases. Cette technique est parfois couplée à un scanner (PET-Scan) afin d'améliorer la qualité des images souhaitées en oncologie (elle vient d'être mise en service en juillet 2009 au CHRU de Caen).

### Les laboratoires d'analyse isotopique

Lors d'examens diagnostiques « in vitro », les radio-isotopes ne sont plus administrés au patient, mais simplement mis au contact de prélèvements biologiques du patient (le plus souvent, un prélèvement sanguin). Dans ce cadre, les biologistes utilisent des réactifs « marqués »<sup>2</sup> qui permettent de doser de nombreuses molécules d'intérêt biologique (hormones, vitamines, enzymes, médicaments, toxiques, marqueurs tumoraux...).

Parmi les techniques utilisant des radio-isotopes, les techniques radio-immunologiques sont les plus employées. Dans le passé, les molécules étaient souvent marquées au **tritium**, mais les marquages se font, maintenant, le plus souvent avec l'**iode 125**. D'autres techniques, d'essor plus récent et relevant de protocoles de biologie moléculaire, conduisent à une mise en œuvre croissante de **phosphore 32**.

A côté des laboratoires d'analyse isotopique, des laboratoires de bactériologie utilisent parfois des molécules marquées au **carbone 14**.

### Les laboratoires de recherche.

<sup>2</sup> En général, des molécules organiques pour lesquelles un atome radioactif a été substitué à un atome stable constitutif de la molécule.

Sur un site hospitalier peuvent également coexister des laboratoires de recherche, surtout si la structure « hospitalière » est également « universitaire » (CHU).

Des sources non scellées sont mises en œuvre à des fins de recherche fondamentale ou appliquée dans les secteurs de la biologie et de la médecine. On retrouvera ici les isotopes classiquement employés pour le marquage de molécules organiques ou inorganiques : **Tritium, Carbone 14, Soufre 35, Iode 125, Phosphore 32, Phosphore 33, Chrome 51, Sodium 22, ...**

L'objet de leur utilisation est relativement diversifié au regard des protocoles développés : radio-traceurs dans des études métaboliques, études de prolifération cellulaire, études des échanges ioniques, techniques de liaison de ligands (réceptologie), dosages radioimmunologiques, constitutions de sondes moléculaires, techniques de phosphorylation de protéines, tests de cytotoxicité, techniques de iodination de protéines...

### Nature et caractéristiques des radioéléments couramment utilisés

Les radioéléments se caractérisent par la nature du rayonnement, l'énergie associée, la période physique, précisées dans le tableau 3. L'incidence de leur utilisation, soit en terme de radioprotection, soit en terme d'impact sur l'environnement, est, en effet, étroitement liée à la nature de ces caractéristiques.

**Tableau 3** : Caractéristiques physiques des principaux radio-isotopes utilisés.

Nature	Formule	Emission	Energie (KeV) max.	% d'émission	Période physique
Technétium 99m	[99mTc]	$\gamma$ $e^-$	141 120	89 % 9 %	6,0 heures
Thallium 201	[201Tl]	$\gamma$ $e^-$	71 ; 167 84	47 ; 10 % 16 %	3,0 jours
Iode 131	[131I]	$\beta^-$ $\gamma$	334 ; 606 284 ; 365 ; 637	7 ; 90 % 6 ; 82 ; 7 %	8,0 jours
Iode 123	[123I]	X, $\gamma$ $e^-$	27 ; 159 127	71 ; 83 % 14 %	13,2 heures
Xénon 133	[133Xe]	X, $\gamma$ $\beta^-$ $e^-$	31 ; 35 ; 81 346 45 ; 75	38 ; 7 ; 38 % 99 % 52 ; 8 %	5,2 jours
Gallium 67	[67Ga]	$\gamma$ $e^-$	93 ; 185 ; 300 84 ; 93	39 ; 21 ; 17 % 29 ; 6 %	3,26 jours
Indium 111	[111In]	$\gamma$ $e^-$	171 ; 245 145 ; 219	90 ; 94 % 9 ; 5 %	2,8 jours
Fer 59	[59Fe]	$\beta^-$ $\gamma$	273 ; 466 1099 ; 1292	46 ; 53 % 56 ; 44 %	44,5 jours
Calcium 45	[45Ca]	$\beta^-$	257	100 %	163 jours
Cobalt 57	[57Co]	$\gamma$	122 ; 137	86 ; 11 %	272 jours
Cobalt 58	[58Co]	$\beta^-$ $\gamma$	475 511 ; 811	15 % 30 ; 99 %	70,8 jours
Strontium 89	[89Sr]	$\beta^-$	1492	100 %	50,7 jours
Rhénium 186	[186Re]	X, $\gamma$ $\beta^-$ $e^-$	59 ; 137 939 ; 1077 63 ; 124	3 ; 9 % 22 ; 72 % 4 ; 6 %	3,78 jours
Samarium 153	[153Sm]	X, $\gamma$ $\beta^-$ $e^-$	41 ; 47 ; 103 634 ; 703 ; 807 21 ; 55 ; 95	49 ; 12 ; 28 % 35 ; 44 ; 21 % 24 ; 41 ; 6 %	1,95 jours
Yttrium 90	[90Y]	$\beta^-$	2284	100 %	2,7 jours
Erbium 169	[169Er]	$\beta^-$	344 ; 352	42 ; 58 %	9,4 jours
Tritium	[3H]	$\beta^-$	18,6	100 %	12,3 ans
Soufre 35	[35S]	$\beta^-$	168	100 %	87,5 jours
Chrome 51	[51Cr]	$\gamma$	320	10 %	27,7 jours
Carbone 14	[14C]	$\beta^-$	156	100 %	5730 ans
Phosphore 32	[32P]	$\beta^-$	1710	100 %	14,3 jours
Phosphore 33	[33P]	$\beta^-$	249	100 %	25,6 jours
Sodium 22	[22Na]	$\beta^-$ $\gamma$	546 511 ; 1275	90 % 181 ; 100 %	2,6 ans
Iode 125	[125I]	X, $\gamma$ $e^-$	27 ; 31 ; 36 23 ; 31	114 ; 26 ; 7 % 20 ; 11 %	60 jours

## La réglementation liée à la gestion des déchets

Jusqu'en 2008, les recommandations pour la gestion des effluents et des déchets d'activités de soins contaminés par des radionucléides étaient précisées par la **circulaire du 9 juillet 2001** (DGS/DHOS n °2001-323) de la Direction Générale de la Santé.

En ce qui concernait l'élimination des effluents stockés dans des cuves tampons, provenant des laboratoires de préparation et de manipulation, la valeur seuil de 7 Bq/L de l'arrêté du 30 octobre 1981 était retenue. Dans le cas des effluents provenant des sanitaires des chambres protégées réservées aux patients hospitalisés pour un traitement par radioéléments artificiels (principalement de l'iode 131), la circulaire prévoyait qu'ils soient également dirigés vers des cuves ; la vidange de ces cuves n'intervenant, alors, que si l'activité volumique ne dépassait pas 100 Bq/L.

Enfin, la circulaire préconisait qu'une mesure de l'activité à l'émissaire de rejet de l'établissement soit effectuée régulièrement afin d'évaluer l'activité de l'ensemble des effluents rejetés, y compris les effluents radioactifs diffus provenant de services autres que celui de médecine nucléaire. Elle retenait les niveaux guides suivants :

- 1000 Bq/L pour le technétium 99m,
- 100 Bq/L pour les autres radioéléments.

A noter que ces deux dernières valeurs constituaient uniquement des niveaux guides, établies dans le but de permettre une évaluation du système de gestion existant.

**L'arrêté du 23 juillet 2008** fixe les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire. La nouveauté de cette réglementation est l'obligation, pour l'établissement concerné, de mettre en place un **plan de gestion** des effluents et des déchets contaminés. Ce plan de gestion doit définir, entre autres, les dispositions et les conditions permettant d'assurer l'élimination des effluents liquides et gazeux et les modalités de contrôles associés.

Ce plan de gestion doit prendre en compte les rejets « maîtrisés », c'est-à-dire les effluents rejetés par les laboratoires de préparation et de manipulation ainsi que ceux provenant des unités et des chambres réservées à l'hospitalisation des patients faisant l'objet d'une thérapie cancéreuse. Ces effluents doivent satisfaire aux règles particulières de gestion par décroissance radioactive et d'élimination dans le respect des limites fixées à 10 Bq/L (limite portée à 100 Bq/L pour les effluents issus des chambres de patients traités à l'iode 131). Il incombe également à l'établissement hospitalier de définir les règles d'élimination en ce qui concerne les effluents « non maîtrisés » générés au sein de son établissement. Il s'agit principalement des effluents provenant des services autres que ceux de médecine nucléaire, comme par exemple les sanitaires pouvant être utilisés par des patients traités ou examinés en ambulatoire.

En aval, lorsque le patient rentre chez lui, la réponse au problème n'est pas simple. Elle impliquerait soit de retenir plus longtemps les patients à l'hôpital (ce qui constitue un surcoût), soit de collecter les urines à domicile mais au risque d'opérer un transfert d'exposition (voire de contamination) sur l'entourage du patient.

## Bilan des contrôles des effluents en sortie des établissements hospitaliers réalisés par l'ACRO

A la demande de la ville de Caen, le laboratoire de l'ACRO contrôle depuis 2002 les effluents en sortie de deux des principaux établissements hospitaliers.

Il s'agit de caractériser et de quantifier les radionucléides artificiels, utilisés dans le domaine de la médecine nucléaire, potentiellement rejetés avec les eaux usées.

Les analyses sont effectuées chaque trimestre, sur un échantillon moyen, représentatif d'une somme de prélèvements réalisés régulièrement pendant 8h au niveau du collecteur général de l'établissement. Sont considérées à ce niveau l'ensemble des eaux usées de l'hôpital avant rejet dans le réseau public. Il est à noter que pour des raisons techniques, la mesure ne tient pas compte :

- des variations du débit sur cette tranche horaire, le dispositif de collection n'étant pas asservi au débit ;
- de la perte due à la décroissance radioactive durant le temps de collection en l'absence d'information sur les modalités temporelles d'évacuation du (ou des) radioélément(s) avec les eaux résiduelles.

Afin de corriger les résultats obtenus de la perte occasionnée par la décroissance radioactive au cours du prélèvement (cas du technétium 99m dont la période radioactive est de 6 heures), on considère l'hypothèse d'un apport, en continu, en éléments radioactifs pendant la plage horaire considérée. En effet, l'étude réalisée par l'ACRO, il y a quelques années, sur la station d'épuration de Caen, montrait au travers d'une caractérisation des effluents en entrée (soit quelques heures après leur rejet), la présence de technétium 99m tout au long de la journée (voir figure 1).

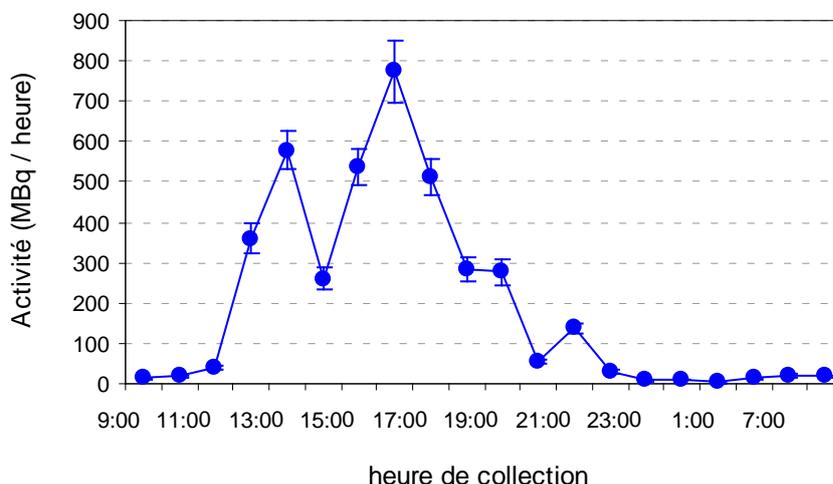


Figure 1 : Variation du flux de  $^{99m}\text{Tc}$  (en  $\text{MBq/h}^1$ ), mesuré dans les eaux usées à l'entrée de la station Mondeville le mercredi 16/06/99 (étude ACRO 1999 autour STEP du District du Grand Caen - AESN)

Nous avons choisi de présenter, ci-dessous, un bilan portant sur les 5 dernières années (figures 2 à 4 et tableau n°4). L'ensemble des analyses réalisées montre la présence systématique de Technétium 99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) et épisodiquement la présence d'iode 131 dans les eaux résiduaires contrôlées.

Les activités en  $^{99m}\text{Tc}$  mesurées (activités corrigées) dépassent en moyenne le niveau guide fixé à 1000 Bq/L par la circulaire de 2001 et peuvent varier de 166 Bq/L (valeur minimale mesurée au cours de l'année 2006) à 13240 Bq/L (valeur maximale mesurée au cours de l'année 2008). En ce qui concerne l'iode 131, sa mise en évidence est moins fréquente (présent dans moins de la moitié des analyses) et sa concentration reste au dessous du niveau guide fixé pour cet élément à 100 Bq/L. Parmi les autres radioéléments, mis en évidence au moins une fois par an, on note la présence de l'indium 111. A deux reprises au cours des 5 années de suivi, son activité volumique a dépassé la valeur de 100 Bq/L. Les autres radioéléments mesurés épisodiquement sont présentés dans le tableau 4.

Ces contrôles réalisés régulièrement permettent de dresser un premier bilan des niveaux de contamination des effluents rejetés par l'établissement de santé.

Il s'agit ici, principalement, des rejets radioactifs diffus, « non maîtrisés », provenant de services autres que celui de médecine nucléaire (par exemple, des toilettes en accès libre dans l'établissement). En effet, parallèlement, sont gérées des cuves tampon permettant la mise en décroissance des effluents « maîtrisés », dont le rejet est réglementé.

Il est toutefois important de souligner les limites de ces contrôles :

- la collection des eaux soumises à l'analyse n'est pas asservie au débit des rejets ;
- le prélèvement est réalisé régulièrement sur 8h, sans discrimination horaire ;
- le prélèvement n'est représentatif que d'une seule journée sur une période de trois mois ;
- il ne tient pas compte de la totalité des rejets issus des patients lorsque ceux-ci sont rentrés chez eux (source diffuse).

<sup>1</sup> 1 MBq =  $10^6$  Bq

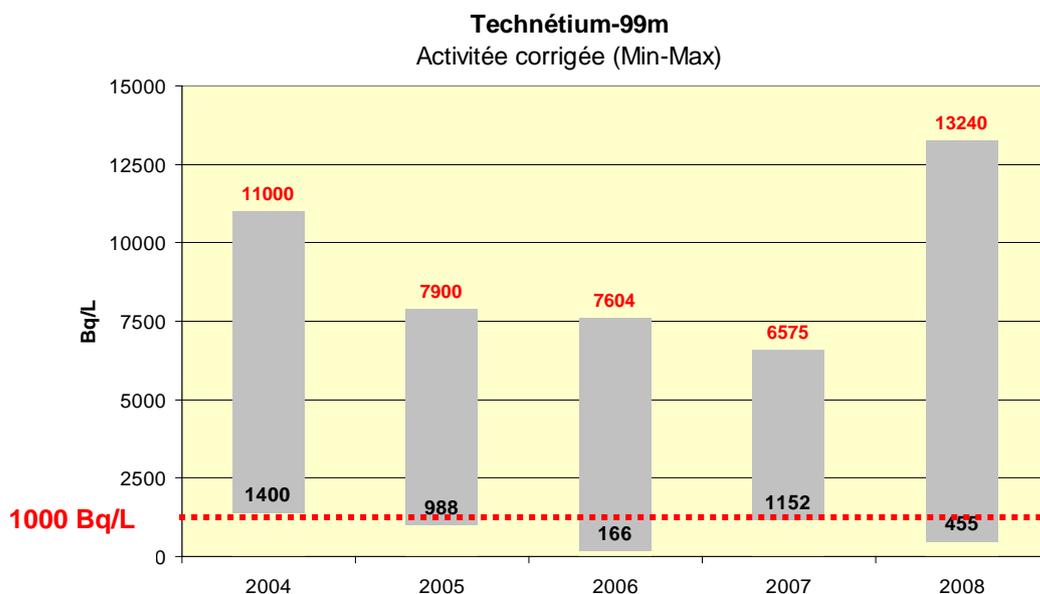


Figure 3 : Activité (maximale et minimale) en Technétium 99m mesurée dans les eaux résiduelles d'établissements hospitaliers durant la période 2004-2008. L'activité présentée est corrigée de la décroissance radioactive pendant la période de prélèvement en prenant l'hypothèse d'un apport continu de ce radioélément (voir texte).

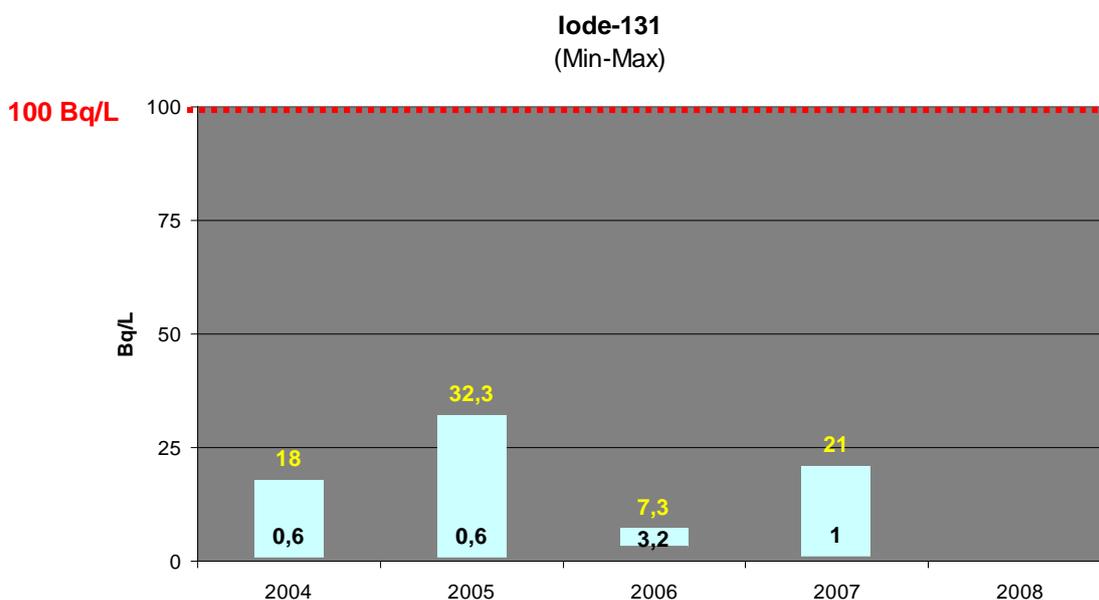


Figure 2 : Activité (max et min) en Iode 131 mesurée dans les eaux résiduelles d'établissements hospitaliers durant la période 2004-2008. En 2008, l'iode 131, n'a pas été mis en évidence.

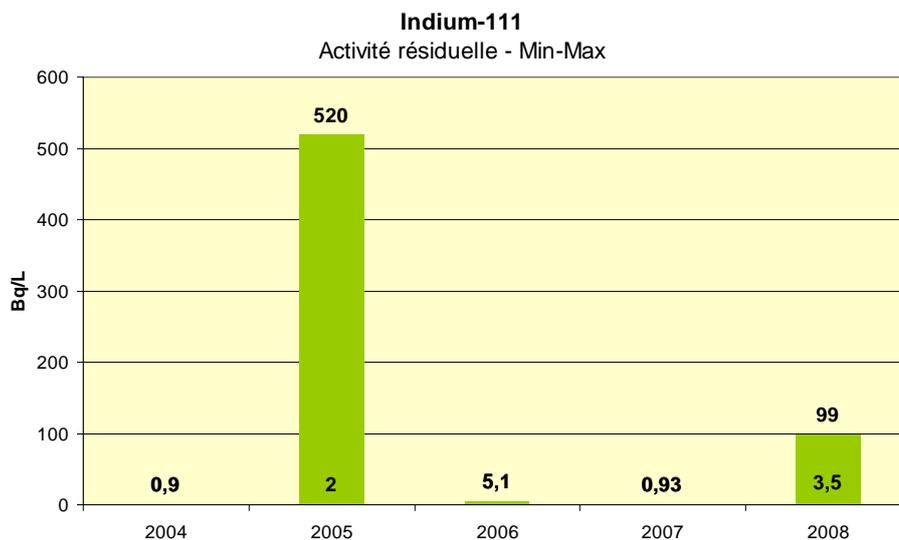


Figure 4 : Activité (max et min) en Indium 111 mesurée dans les eaux résiduaires d'établissements hospitaliers durant la période 2004-2008.

#### Autres radionucléides détectés:

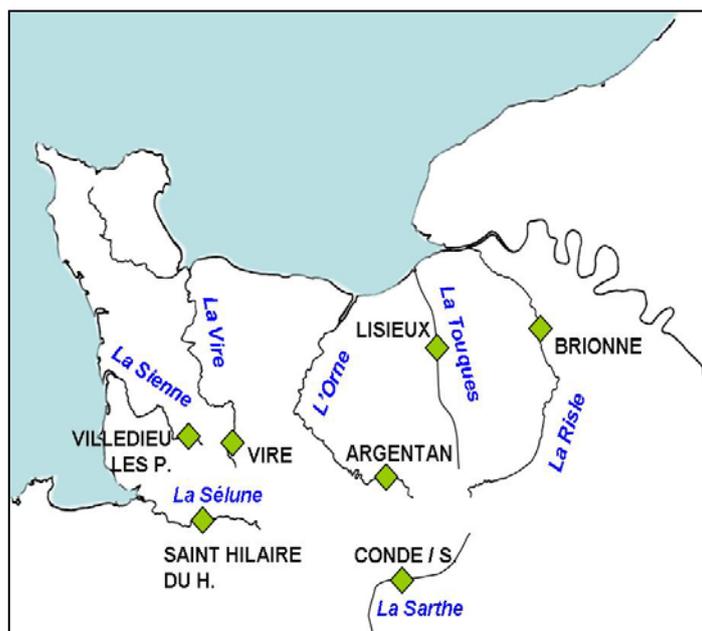
Tableau 4 : Autres radionucléides détectés dans les eaux résiduaires d'établissement hospitalier durant la période 2004-2005

Radionucléide	Activité (Bq/L)	Fréquence de détection
Chrome 51 (27,7 jours)	11	1 / 56
Cobalt 57 (272 jours)	0,6 – 0,9	2 / 56
Gallium 67 (3,3 jours)	5,1	1 / 56
Iode 123 (13,2 heures)	3,8 – 299	3 / 56
Iode 125 (60 jours)	4,4 – 6,1	2 / 56
Thallium 201 (3,0 jours)	14	1 / 56

### **Impact des rejets dans l'environnement**

Dans le cadre de l'Observatoire citoyen de la radioactivité dans l'environnement animé par l'ACRO, les principales rivières normandes font l'objet d'une surveillance régulière. L'évaluation s'articule autour de deux campagnes de prélèvements sur l'année : l'une au printemps / été et l'autre en automne / hiver. Les indicateurs choisis sont les mousses aquatiques du genre *Fontinalis* et les sédiments déposés dans les zones de calme hydrodynamique des cours d'eau.

Sept cours d'eau, alimentant pour l'essentiel les eaux côtières marines du littoral Bas-Normand, sont retenus : la Sélune, la Sienne, la Vire, l'Orne, la Sarthe, la Touques, la Risle. Le choix des sites surveillés tient compte des apports de radioactivité d'origine artificielle dus, hors influence d'installations nucléaires, à la dissémination des radionucléides utilisés en médecine nucléaire. C'est pourquoi, les stations de prélèvements se situent généralement en aval d'agglomérations de taille importante.



Localisation des lieux de prélèvement sur les principales rivières du bassin Seine Normandie dans le cadre de l'observatoire citoyen de la radioactivité dans

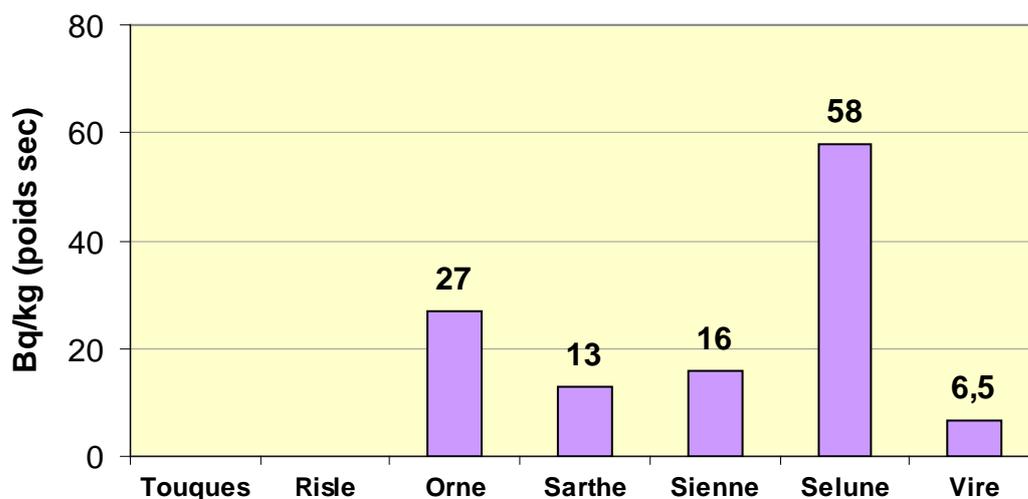


Figure 5 : Activité maximale en iode 131 mesuré dans les mousses aquatiques sur la période de suivi 2005-2007

Sur les trois années de surveillance présentées ici (cf. figure 6) on constate la mise en évidence ponctuelle de l'iode 131 sur cinq des sept rivières surveillées en aval de petites et moyennes agglomérations. Hors influence d'installations nucléaires<sup>3</sup>, il s'agit là de pollutions diffuses liées majoritairement à l'injection aux patients de traceurs radioactifs éliminés ensuite par voie naturelle. Malgré le caractère ponctuel des prélèvements (collecte réalisée deux fois par an), il est important de remarquer que ceux-ci ont permis, au moins une fois au cours du suivi, de mettre en évidence la présence d'iode 131, dans cinq des sept rivières surveillées. En effet, compte tenu de la période radioactive relativement courte de cet élément (8 jours), la probabilité que la collecte des échantillons coïncide avec un rejet « diffus » est très faible. Cette observation signifie donc que de tels rejets ne sont pas exceptionnels.

<sup>3</sup> L'iode 131 est utilisé par la médecine nucléaire mais cet élément est également rejeté par l'industrie nucléaire.

## En conclusion

La gestion des effluents contaminés par des radionucléides dans le secteur médical a, nous l'avons vu, évolué depuis ces dix dernières années, permettant une meilleure prise en compte de la problématique vis-à-vis des rejets. En amont, l'obligation de justifier et d'optimiser les procédures, devrait permettre également de réduire les quantités de radio-isotopes mis en jeu.

En effet, le **décret « patient »**, du 24 mars 2003, lié à la protection des personnes exposées aux rayonnements ionisants à des fins médicales, a permis d'insister de façon importante sur la notion de **justification** des expositions et précise que les examens irradiants non justifiés « devraient être interdits ». La responsabilité de la justification repose alors conjointement sur le médecin prescripteur et sur celui qui effectue l'examen. Un plus grand souci de la radioprotection des patients a été également renforcé avec la transposition du texte européen (directive 97-43) qui pose l'obligation **d'optimisation** des procédures :

- de diagnostic : *« Toute dose consécutive à des expositions médicales à des fins radiologiques [...] est maintenue au niveau le plus faible raisonnablement possible pour permettre d'obtenir l'information diagnostique requise, compte tenu des facteurs économiques et sociaux. »*
- de thérapie : *« les expositions des volumes cibles sont programmées au cas par cas, en tenant compte du fait que les doses pour les volumes et les tissus autres que ceux de la cible soient maintenues au niveau le plus faible raisonnablement possible et doivent être conformes aux fins radiothérapeutiques de l'exposition. ».*

L'application de ces deux principes de justification et d'optimisation doit permettre de recenser pour chaque pratique les cas où l'utilisation des rayonnements ionisants est réellement utile au diagnostic et à la stratégie thérapeutique ; c'est à dire, lorsque aucun examen non irradiant ne peut apporter des renseignements équivalents. En outre, le processus d'optimisation implique une exigence envers la qualité des équipements et la recherche de futures techniques permettant d'abaisser les activités administrées au patient. L'avenir semblerait donc aller vers un abaissement des consommations utilisées par le domaine médical.

Ce propos est à modérer, toutefois, compte tenu de l'augmentation des pratiques mettant en jeu des radio-isotopes. Le marché américain des radiopharmaceutiques à des fins thérapeutiques était évalué à 57 millions de dollars en 2005 et il est estimé que la vente de ces produits atteindra le chiffre de 1,9 milliard de dollars en 2012 avec une rapide progression par la suite. L'avenir repose sur la recherche de nouveaux radio-isotopes permettant de mieux focaliser la dose délivrée à la tumeur mais en altérant moins les tissus sains périphériques. Les candidats potentiels sont donc prioritairement des émetteurs bêta mais plus encore des émetteurs alpha (dont le parcours dans la matière est très limité). **Ces dernières années, la recherche explore donc un certain nombre de produits en cours de développement employant les isotopes suivants : lutetium-177, promethium-149, bismuth-212, bismuth-213, astatine-211, radium-223, and polonium-210.**

Ensuite, comme nous l'avons vu, une nouvelle réglementation encadre désormais l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides pour le domaine médical et **celui** de la recherche. Le plan de gestion qui devra obligatoirement être mis en place pour chaque établissement concerné doit permettre de responsabiliser les différents services produisant et/ou détenant des déchets contaminés. Ce bilan nécessitera une évaluation exhaustive des modes de production et d'élimination, accompagnés de dispositions de surveillance périodique du réseau **collectant** les effluents liquides. A cette fin, une caractérisation plus « fine » que les contrôles réalisés jusqu'à maintenant, devra être entreprise. Il s'agira, par exemple, d'évaluer sur une semaine type, les rejets effectués heure par heure.

Enfin, les dispositions réglementaires ne s'appliquant pas lorsque le patient a quitté les établissements de santé, il nous semble important qu'une surveillance soit également portée, plus globalement, au niveau du réseau d'assainissement des villes, **notamment** des stations d'épuration, en entrée de celles-ci puis avant leur rejet ultime dans l'environnement.