

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Etude des termes sources et du transfert de la radioactivité d'origine médicale dans le réseau d'assainissement de la ville de Toulouse

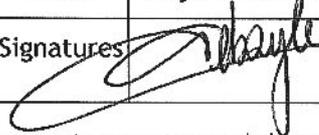
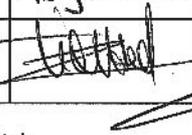
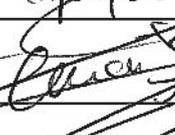
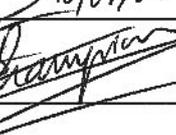
DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'INTERVENTION
Service d'Etude et de Surveillance
de la Radioactivité dans l'Environnement

Demandeur	Compagnie Générale des Eaux - Usine de dépollution de Ginestous
Référence de la demande	BRB. 03-09.002 - Rapport DEI/SESURE 2004-04
Numéro de la fiche programme	

**Etude des termes sources et du transfert de la
radioactivité d'origine médicale dans le réseau
d'assainissement de la ville de Toulouse**

Laboratoire de veille radiologique de l'environnement

Rapport DEI/SESURE n° 2004-25

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur*	Chef du SESURE	Directeur de la DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	C. DEBAYLE	O. PIERRARD	N. LEMAITRE	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	19 janvier 2005	13 janvier 05	23/01/05	10/03/05	
Signatures					

* rapport sous assurance de la qualité

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires
1	10/09/2004	O. PIERRARD		
1.1	18/10/2004	N. LEMAITRE		
1.2	20/12/2004	CGE TOULOUSE		
1.3	19/01/2005	CGE TOULOUSE		
1.4	01/02/2005	D. CHAMPION		
1.5	01/03/2005	G. LINDEN		

LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Organisme
Clément RAPICAULT	IRSN/DEI/SESURE
Olivier BARRIEU	IRSN/DEI/SIAR
Belen ROSADO-BOULET	CGE Toulouse
Pierre DUTHIL	CHU Toulouse
André BONNET	Institut Claudius Regaud

LISTE DE DIFFUSION

Nom	Organisme
M. le Directeur	CGE Toulouse

SOMMAIRE

1 CONTEXTE DE L'ETUDE	4
2 RAPPELS ET NOTIONS IMPORTANTES EN RADIOPROTECTION	6
2.1 LA RADIOACTIVITE	6
2.2 LES MODES D'EXPOSITION	6
2.3 LES GRANDEURS ET UNITES UTILISEES EN RADIOPROTECTION	7
3 LA MEDECINE NUCLEAIRE	9
3.1 PRINCIPES ET PRATIQUES EN MEDECINE NUCLEAIRE	9
3.1.1 Définitions	9
3.1.2 Domaines d'application	10
3.1.2.1 Le diagnostic et les explorations fonctionnelles in vivo	10
3.1.2.1.1 La mesure de la fixation d'un traceur par un organe	10
3.1.2.1.2 La détermination des volumes sanguins	10
3.1.2.1.3 Les autres explorations fonctionnelles utilisant des traceurs radioactifs	10
3.1.2.2 La scintigraphie	11
3.1.2.2.1 Principe général	11
3.1.2.2.2 Les traceurs isotopiques	11
3.1.2.2.3 La formation de l'image scintigraphique	12
3.1.2.3 Le diagnostic in vitro	13
3.1.2.4 La radiothérapie métabolique	13
3.1.2.4.1 Principe général	13
3.1.2.4.2 Les principales indications	13
3.1.2.5 Conséquences et points à prendre en considération	14
3.2 REGLEMENTATION	16
3.2.1 Synthèse de la réglementation concernant les effluents liquides radioactifs des services de médecine nucléaire	16
3.2.2 Conséquences	17
4 ETAT DES CONNAISSANCES	19
4.1 PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE	19
4.1.1 Le Centre Hospitalier Régional de Toulouse	19
4.1.1.1 Le service de médecine nucléaire (diagnostic) :	20
4.1.1.2 Le pavillon Louis Bugnard (thérapie) :	20
4.1.2 Le Centre de Recherche et de Lutte contre le Cancer Claudius Regaud	21
4.1.3 Synthèse	22
4.2 LE TECHNETIUM 99 METASTABLE ET L'IODE 131	23

4.2.1 Le technétium 99 métastable (^{99m}Tc) :	23
4.2.2 L'iode 131(^{131}I) :	25
4.2.3 Conclusion	26
4.2.4 Le réseau d'assainissement toulousain et la station de dépollution de Ginestous	27
4.2.4.1 Fonctionnement du réseau d'assainissement	27
4.2.4.2 Analyse des processus d'assainissement	28
5 MATERIEL ET METHODE	29
5.1 DETERMINATION DES SOURCES DE REJET D'EFFLUENTS RADIOACTIFS	29
5.1.1 Choix des lieux d'implantation de la sonde portable	30
5.1.2 Installation à l'émissaire du CHR de Rangueil	31
5.1.3 Installation à l'émissaire de l'Institut Claudius Regaud (ICR)	32
5.1.4 Méthode de validation des mesures des sondes Télhydro	32
5.2 VERIFICATION DE L'EFFICACITE DES CUVES DE DECROISSANCE	33
5.3 ESTIMATION DES FLUX ET DU POUVOIR DE DILUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT TOULOUSAIN	34
5.3.1 Evaluation du terme source	34
5.3.2 Transfert des radionucléides au réseau d'assainissement	35
5.3.3 Estimation du flux de radioactivité dans le réseau d'assainissement	36
5.4 IMPACT RELATIF DES ETABLISSEMENTS ET DES PATIENTS AMBULATOIRES	36
5.5 MESURE DE L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE GAMMA AU SEIN DE LA STATION DE DEPOLLUTION	37
6 PRESENTATION DES RESULTATS	39
6.1 VALIDATION DES MESURES EN CONTINU DE LA SONDE	39
6.2 RESULTATS OBTENUS AU NIVEAU DES SOURCES D'EFFLUENTS RADIOACTIFS	42
6.2.1 Le CHR de Rangueil	42
6.2.2 Le centre de lutte contre le cancer Claudius Regaud	44
6.2.3 Conclusion :	47
6.3 VERIFICATION DE L'EFFICACITE DU STOCKAGE EN CUVE DE DECROISSANCE DES DEUX ETABLISSEMENTS ETUDIES	50
6.4 FLUX DE RADIOACTIVITE ET POUVOIR DE DILUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT	50
6.4.1 Le CHR de Rangueil	51
6.4.2 L'Institut Claudius Regaud	53
6.4.3 Conclusion	54
6.4.4 Bilan des flux d'iode 131 et de technétium 99 métastable dans le réseau d'assainissement	55
6.4.4.1 Flux d'iode 131	55
6.4.4.2 Flux de technétium 99 métastable	56
6.5 ÉVALUATION DU POUVOIR DE DILUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT TOULOUSAIN	58
6.6 ÉTUDE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DES EAUX USEES ARRIVANT PAR LE POSTE NORD DE GINESTOUS.	59
6.7 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE DUE A LA RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE D'ORIGINE MEDICALE ..	61
7 DISCUSSION	63

8 BIBLIOGRAPHIE :	66
9 LISTE DES FIGURES	68
10 LISTE DES TABLEAUX	69
11 ANNEXES :	70

1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Depuis 2001, l'usine de dépollution de Toulouse - Ginestous, de la Communauté d'Agglomération du Grand Toulouse, fait l'objet d'un suivi en continu des effluents à traiter à l'aide d'une sonde Téléhydro de l'IRSN, effectuant un comptage gamma global et mesurant les activités volumiques de l'iode 131 et du technétium 99 métastable. Cette sonde détecte régulièrement la présence de ces radionucléides.

En 2003, la Compagnie Générale des Eaux (CGE), concessionnaire du service d'assainissement et chargée d'assurer le traitement des eaux usées de la ville de Toulouse, n'a pu éliminer certains résidus de l'incinération des boues du fait d'un déclenchement de portique mesurant la radioactivité à l'entrée d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET). Suite à ce déclenchement de portique, des mesures radiologiques complémentaires ont été réalisées à l'initiative de la CGE et ont démontré la présence d'iode 131 dans ces résidus.

Le déclenchement du portique a alerté la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) qui a demandé à être tenue informée de l'évolution de la situation et des résultats complémentaires obtenus, afin de pouvoir répondre aux interrogations des habitants de l'agglomération toulousaine.

L'ensemble de ces considérations a conduit la CGE à faire appel à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) pour réaliser une expertise visant à établir l'origine et le devenir de la radioactivité (notamment l'iode 131), depuis le ou les termes sources (hôpitaux) jusqu'à la sortie de l'usine. Les modalités de prise en charge de ces effluents et les coûts associés à la présence d'iode 131 dans les réseaux de collecte, et par conséquent dans l'usine de dépollution de Ginestous, devront être précisés au terme de l'étude. Jusqu'à présent, ces coûts ont été entièrement supportés par la CGE.

Cette demande concerne trois aspects :

- l'identification et la caractérisation des points de rejet en iode 131 dans le réseau public de collecte des eaux usées ainsi que la vérification du respect des textes applicables ;
- l'étude du cheminement de la radioactivité au cours des processus d'épuration ;
- la mesure d'une éventuelle exposition à des radiations γ au sein de l'usine.

Plusieurs établissements de santé (hôpitaux, instituts, cliniques) utilisent des substances radioactives et deux établissements effectuent des diagnostics et des radiothérapies métaboliques, susceptibles de mettre en jeu d'importantes activités : l'Institut Claudius Regaud (ICR) et le Centre Hospitalier Régional de Rangueil (CHR Rangueil). De plus, les services de médecine nucléaire de chacun d'entre eux sont les seuls à mettre en œuvre de l'iode 131 pour des activités thérapeutiques.

Ces établissements sont également intéressés par l'obtention de mesures précises en vue de démontrer que leurs rejets sont en conformité avec les textes en vigueur.

2 RAPPELS ET NOTIONS IMPORTANTES EN RADIOPROTECTION

2.1 LA RADIOACTIVITE

Certains noyaux d'atomes ayant un excédent de protons et/ou de neutrons se désintègrent spontanément du fait de leur instabilité physique. Chaque désintégration s'accompagne de l'émission d'une particule de nature et d'énergie variant selon l'isotope considéré.

Les grands types de rayonnements émis sont classés comme suit :

- Rayonnement alpha (α) : il s'agit d'un noyau d'hélium, composé de 2 protons et 2 neutrons, dont le rayonnement de nature corpusculaire est très peu pénétrant.
- Rayonnement bêta (β^+ ou β^-) : il s'agit d'un positon ou d'un électron dont le rayonnement peu pénétrant, après un parcours de quelques mètres dans l'air, est arrêté par quelques millimètres de métal.
- Rayonnement X et gamma (γ) : il s'agit d'un photon dont le rayonnement de nature ondulatoire est très pénétrant. Pour s'en protéger, une protection en plomb ou en béton, dont l'épaisseur est à adapter à l'énergie du rayonnement, permet son atténuation.

Quelques isotopes radioactifs sont naturellement présents dans l'environnement (^7Be , ^{14}C , ^{40}K , ^{238}U ...) et leur utilisation anthropique permet la production d'énergie, la datation d'objets anciens ou encore la fabrication de radioisotopes artificiels.

Ces derniers, dont le nombre dépasse 1500, sont créés artificiellement en laboratoire pour des applications médicales, tels que l'iode 131 ou le technétium 99 métastable, ou dans les réacteurs nucléaires sous forme de produits de fission ou d'actinides mineurs résultant du bombardement neutronique du combustible au sein du réacteur nucléaire.

2.2 LES MODES D'EXPOSITION

Les rayonnements ionisants peuvent provoquer des lésions cellulaires voire des modifications du génome lorsque ceux-ci interagissent avec la matière organique.

Trois modes d'exposition sont possibles pour l'homme :

- Exposition sans contact : il s'agit d'une irradiation à distance sans que la radioactivité soit au contact de l'individu.

- Contamination externe avec contact : il s'agit d'une contamination cutanée par dépôt de particules radioactives sur la peau.
- Contamination interne : il s'agit de l'ingestion, de l'inhalation ou de la pénétration par voie cutanée de particules radioactives dans l'organisme. Dans ce cas, les radioisotopes peuvent, selon leur nature, se fixer de façon préférentielle sur un organe et l'irradiation a lieu à l'intérieur de l'organisme.

Les moyens de protection contre ces expositions aux rayonnements ionisants permettent aujourd'hui de limiter la dose reçue par une personne ou un travailleur.

2.3 LES GRANDEURS ET UNITES UTILISEES EN RADIOPROTECTION

La connaissance des caractéristiques d'une irradiation permet d'en estimer les effets biologiques.

Trois unités principales sont utilisées en radioprotection, chacune servant respectivement à quantifier trois grandeurs qui dépendent de l'activité d'une source, de son énergie et des effets biologiques susceptibles d'être engendrés si une exposition à cette dernière se produit :

- **L'activité (A) :**

L'activité représente le nombre de désintégrations nucléaires spontanées qui ont lieu dans une quantité de matière donnée et dans un laps de temps déterminé. Le becquerel (Bq) est l'unité du système international servant à mesurer l'activité d'une source radioactive.

Il a été défini de la manière suivante :

- 1 Bq = une désintégration par seconde.

Le becquerel a remplacé le curie qu'il est encore possible de trouver dans la littérature.

La valeur de 1 curie était définie comme l'activité de 1 g de radium, soit 37 milliards de désintégrations à la seconde, ce qui équivaut à 37 milliards de becquerels.

Les facteurs de proportionnalité sont les suivants :

- $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
- $1 \text{ Bq} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$
- $740 \text{ MBq} = 20 \text{ mCi}$

- **La dose absorbée (H):**

Elle correspond à la quantité d'énergie (exprimée en joules) cédée par les particules ionisantes à une unité de masse (exprimée en kilogrammes) de la matière rencontrée. Le gray (Gy) est l'unité de mesure internationale de la dose absorbée.

Il a été défini de la manière suivante :

- $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$

Le gray peut être utilisé pour exprimer la dose reçue de tous les types de rayonnements, dans n'importe quel milieu. Lorsqu'on exprime une dose en gray, on doit donc préciser le milieu dans lequel l'énergie est cédée.

Le gray par heure (Gy/h) permet de mesurer le **débit de dose absorbée**, c'est-à-dire l'énergie communiquée à un milieu par unité de temps. Le gray est une unité du Système international qui a remplacé le rad.

Le gray a remplacé le rad qu'il est encore possible de trouver dans la littérature.

Les facteurs de proportionnalité sont les suivants :

- $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
- $1 \text{ rad} = 10 \text{ mGy}$

- **La dose équivalente (H) et la dose efficace (E) :**

La dose équivalente est égale à la dose absorbée multipliée par un facteur de pondération (W_R) qui tient compte du type de rayonnement (ex : 20 pour le rayonnement alpha et 1 pour les rayonnements bêta et gamma).

Pour tenir compte des effets biologiques relatifs à chaque type de rayonnement, on **calcule** la dose équivalente, dont l'unité internationale est le sievert (Sv).

- $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$ pour les rayonnements bêta et gamma.

Le sievert a remplacé le rem qu'il est encore possible de trouver dans la littérature.

Les facteurs de proportionnalité sont les suivants :

- $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$
- $1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$

La **dose efficace** est une dose biologique très utilisée en radioprotection, qui sert à évaluer l'exposition d'une personne individuelle aux rayonnements. Elle tient compte de la sensibilité des tissus affectés. L'unité de dose efficace est le sievert comme pour la dose équivalente qui est relative à un tissu, un organe ou une glande, comme la thyroïde.

3 LA MEDECINE NUCLEAIRE

La médecine nucléaire s'est considérablement développée depuis les années 50. Les progrès accomplis et la naissance de la radioprotection ont notamment permis de prendre conscience des risques inhérents aux pratiques de médecine nucléaire et d'en limiter les effets pour optimiser le rapport "contrainte / bénéfice".

Depuis quelques années cependant, la conséquence de l'augmentation de la fréquence de ces pratiques a été la mise en évidence de présence de radioactivité par les portiques de détection de radioactivité à l'entrée des centres d'incinération.

3.1 PRINCIPES ET PRATIQUES EN MEDECINE NUCLEAIRE

Deux grandes pratiques peuvent être distinguées dans les services de médecine nucléaire : le diagnostic et la thérapie.

- **Le diagnostic** : l'objectif est l'exploration fonctionnelle du métabolisme de certains organes.
- **La thérapie** : dans ce cas l'objectif est la destruction par irradiation des tissus pathologiques.

3.1.1 DEFINITIONS

La médecine nucléaire regroupe l'ensemble des applications médicales des traceurs ou substances radioactives en sources non scellées (essentiellement liquides) ou scellées (solides).

- **Sources scellées** : sources radioactives dont le confinement permet d'en contrôler le flux. Sur le plan médical, elles sont essentiellement utilisées en radiothérapie métabolique (ex. : cobaltothérapie).
- **Sources non scellées** : sources radioactives dont le confinement ne permet pas d'en contrôler le flux. Elles peuvent de ce fait être dispersées, notamment dans l'organisme.

3.1.2 DOMAINES D'APPLICATION

3.1.2.1 Le diagnostic et les explorations fonctionnelles in vivo

Actuellement, les explorations fonctionnelles sont le plus souvent couplées à un enregistrement scintigraphique qui fait de ces explorations la base de l'imagerie fonctionnelle. Elles nécessitent l'administration au patient d'un traceur radioactif.

3.1.2.1.1 La mesure de la fixation d'un traceur par un organe

Principe : détermination, grâce à l'administration d'un traceur radioactif, des capacités de captation et/ou d'élimination d'une substance par un organe.

Ces mesures de fixation peuvent être utilisées dans le diagnostic et la surveillance de certaines dysthyroïdies. Elles permettent essentiellement d'ajuster l'activité administrée lors d'une radiothérapie métabolique à l'iode 131.

3.1.2.1.2 La détermination des volumes sanguins

Les traceurs radioactifs sont particulièrement adaptés aux explorations métaboliques par analyse compartimentale. La méthode la plus simple, qui ne prend en compte qu'un seul compartiment fermé, est la dilution isotopique.

Ces études sont utiles dans l'évaluation diagnostique des polyglobulies et de certaines anémies.

3.1.2.1.3 Les autres explorations fonctionnelles utilisant des traceurs radioactifs

Les autres explorations fonctionnelles utilisant des traceurs radioactifs sont nombreuses même si elles sont parfois peu utilisées :

- les mesures de débits et de perfusions tissulaires

Ces méthodes permettent de mesurer des grandeurs comme le débit cardiaque ou les débits sanguins cérébraux. Elles sont souvent associées à des images scintigraphiques.

- les mesures de cinétiques cellulaires

L'étude des cinétiques cellulaires permettent la détermination des durées de vie des populations sanguines circulantes (plaquettes et hématies) après marquage de ces cellules par un isotope radioactif et étude de l'évolution dans le temps de la radioactivité au niveau de différents organes (moelle osseuse, rate, foie...).

- les explorations du métabolisme de l'eau, du phosphore, du potassium, du calcium...

Ces études qui utilisent des isotopes radioactifs (^3H , ^{45}Ca , ^{32}P ...) ont été très utiles pour comprendre le fonctionnement des échanges de l'eau et des électrolytes dans l'organisme.

3.1.2.2 La scintigraphie

3.1.2.2.1 Principe général

Les explorations scintigraphiques sont fondées sur le principe de l'imagerie par émission de photons. Elles consistent à visualiser une structure anatomique ou fonctionnelle de l'organisme en localisant la répartition spatiale et temporelle d'un traceur radioactif au moyen d'un détecteur externe appelé caméra à scintillation.

3.1.2.2.2 Les traceurs isotopiques

Deux types d'isotopes radioactifs peuvent être utilisés :

- Les émetteurs γ dont les photons sont détectés par des caméras conventionnelles.
- Les émetteurs β^+ dont les photons d'annihilations sont détectés par des caméras à positons.

Les traceurs radioactifs utilisés en scintigraphie, et plus généralement en médecine nucléaire, prennent le nom de radiopharmaceutiques. Ils sont considérés comme des médicaments et sont soumis, de ce fait, aux mêmes contraintes administratives. De plus leur caractère radioactif les soumet aux différentes directives concernant la radioprotection.

Différents types de radiopharmaceutiques

Il faut distinguer :

- Les isotopes radioactifs non couplés à une molécule vectrice

Parmi eux les plus utilisés sont :

- le technétium 99 métastable
 - l'iode 123 et l'iode 131
 - le thallium 201
 - le xénon 133
- Les isotopes radioactifs couplés à une molécule vectrice

Dans ce cas, la spécificité vis-à-vis de l'organe est assurée par l'intermédiaire d'une molécule non radioactive, dite froide, qui peut être détectée après couplage avec l'un des isotopes précédents.

Le technétium 99 métastable est l'isotope γ le plus utilisé actuellement car il offre l'avantage de pouvoir être produit de façon extrêmement simple par n'importe quel service de médecine nucléaire.

Il faut également insister sur le cas particulier du 18F-FluoroDeoxyGlucose pour lequel l'isotope radioactif est un émetteur β^+ , qui devrait prendre dans l'avenir une place très importante, notamment en oncologie. Dans ce cas, la particule β^+ (électron positif) s'annihile très rapidement avec un électron pour émettre 2 photons opposés de 511 keV.

Tableau 1 : Exemples de quelques radiopharmaceutiques couramment utilisés en scintigraphie

Organe - Fonction Pathologie	Molécule "froide" (non radioactive)	Isotope radioactif
Thyroïde		^{99m}Tc - ^{123}I - ^{131}I
Squelette	Diphosphonates	^{99m}Tc
Myocarde	MIBI	^{99m}Tc
		^{201}Tl
Perfusion pulmonaire	Micro agrégat d'albumine	^{99m}Tc
Ventilation pulmonaire		^{133}Xe , ^{81m}Kr
Oncologie	FDG	^{18}F

3.1.2.2.3 La formation de l'image scintigraphique

La caméra à scintillation permet la localisation spatiale des photons émis par l'organe cible.

Après administration, le plus souvent par voie intraveineuse, le traceur se fixe sur l'organe cible pour émettre des photons dans toutes les directions. Après avoir traversé l'organisme, certains d'entre eux sont détectés par la caméra.

La caméra à scintillation est un détecteur polyvalent permettant d'obtenir différents types d'images :

- Des clichés focalisés (ex : scintigraphie osseuse du pied).
- Des clichés corps entier.
- Des études tomographiques : (ex : scintigraphie myocardique).

- Des clichés dynamiques avec études fonctionnelles (ex : étude de la fonction rénale).
- Des études utilisant des émetteurs de positons (ex : scintigraphie au ^{18}F en oncologie).

3.1.2.3 Le diagnostic in vitro

C'est l'ensemble des méthodes de diagnostic biologique ne nécessitant pas l'administration d'un traceur radioactif au patient. Parmi ces méthodes, la plus utilisée est la radioimmunologie. Le radioélément utilisé de façon prépondérante est l'iode 125.

3.1.2.4 La radiothérapie métabolique

C'est l'ensemble des applications thérapeutiques mettant en jeu l'administration au patient d'un radioisotope.

3.1.2.4.1 Principe général

Les éléments radioactifs peuvent être utilisés dans le cadre d'un certain nombre de stratégies thérapeutiques. Le principe est le même que celui de l'exploration *in vivo* (explorations fonctionnelles ou scintigraphie) et repose sur la spécificité des traceurs vis-à-vis d'un organe ou d'une pathologie. L'objectif est de détruire *in situ* des cellules ou des tissus pathologiques en irradiant le moins possible les tissus sains. La différence fondamentale réside dans le type d'émetteur considéré.

Alors que le diagnostic *in vivo* impose, pour des raisons liées aux impératifs de détection externe, le recours à des isotopes γ associés ou non à un émetteur β^+ , la radiothérapie métabolique doit mettre en œuvre des rayonnements dont le parcours moyen est faible afin de déposer l'essentiel de leur énergie au contact du tissu cible. C'est pourquoi, la radiothérapie métabolique utilise des émetteurs β^- .

3.1.2.4.2 Les principales indications

Les indications de ce type de thérapeutique sont actuellement en nombre croissant et seules seront listées ci-dessous celles qui sont les plus courantes ou dont le nombre d'applications augmente.

- **Radiothérapie thyroïdienne**

Elle repose sur le même principe que l'exploration *in vivo* de la thyroïde. Le tissu thyroïdien concentrant l'iode, cette propriété est utilisée en pathologie bénigne (hyperthyroïdie ou hypothyroïdie) ou cancéreuse. Dans ce cas on utilise le rayonnement β^- de ^{131}I .

Les principales applications de cette thérapeutique sont :

- les hyperthyroïdies → "Petite thérapie" (< 740 MBq)
- les cancers thyroïdiens → "Grosse thérapie"

- **Radiothérapie au ^{32}P (phosphore 32)**

Cet isotope a été très tôt utilisé dans le traitement de certaines hémopathies. Aujourd'hui ces indications sont limitées aux polyglobulies.

- **Synoviorthèses isotopiques**

Indiqué principalement dans la polyarthrite rhumatoïde, ce traitement consiste à détruire les proliférations synoviales liées à cette maladie inflammatoire. Plusieurs isotopes peuvent être utilisés comme ^{90}Y , le ^{186}Rh et le ^{169}Er .

- **Radiothérapie antalgique des métastases osseuses**

La prise en charge de la douleur osseuse constitue un problème majeur, notamment en cas de cancer mammaire ou prostatique où la présence de métastases peut demeurer compatible avec une survie de longue durée. Dans ce cadre, la radiothérapie métabolique au ^{89}Sr ou au ^{153}Sm -diphosphonate vient compléter l'arsenal thérapeutique existant (antalgiques, diphosphonates, radiothérapie externe, chirurgie, ...).

- **Immunoradiothérapie**

En couplant un anticorps monoclonal avec un isotope radioactif émetteur β^- , il est possible de cibler de manière spécifique certaines tumeurs. Cette thérapeutique est actuellement le sujet d'un grand nombre de recherches avec des résultats très encourageants, en particulier dans le traitement des lymphomes.

3.1.2.5 Conséquences et points à prendre en considération

De la réception à l'élimination de la radioactivité au sein des services de médecine nucléaire, en passant par la préparation ou encore l'administration des doses, cette activité génère des déchets et effluents.

Les déchets sont dans la totalité solides et repartent des services de médecine nucléaire dans des conditionnements adaptés. Les restes des préparations non administrées repartent également sous forme de déchets solides, du fait de leur conditionnement.

Les effluents quant à eux peuvent être de deux natures différentes, d'une part les effluents en provenance des lavabos ou des bondes d'évacuation des locaux, d'autre part les urines ou selles des patients.

Dans le premier cas, la maîtrise des effluents est assez simple puisqu'ils peuvent être stockés et confinés facilement. La difficulté principale réside donc dans les effluents constitués des urines et selles des patients qui, du fait de leur caractère ambulatoire, rendent leur maîtrise plus difficile.

C'est la raison pour laquelle, selon le temps de résidence de la radioactivité au sein de l'organisme du patient, l'activité volumique des urines et celle des selles dans une moindre proportion, peut rester significative de quelques jours à quelques mois.

Une réglementation assez générale existe depuis 1981 et précise les conditions d'emploi des radioisotopes artificiels utilisés en sources non scellées à des fins médicales ainsi que sur le stockage et l'élimination des effluents liquides.

Cependant, ce n'est qu'en 2001 qu'une réglementation plus spécifique a vu le jour, préconisant des valeurs limites de rejet à la sortie des établissements de santé, avec notamment la prise en considération que ces rejets proviennent des patients plus que de l'établissement en tant que tel.

3.2 REGLEMENTATION

3.2.1 SYNTHESE DE LA REGLEMENTATION CONCERNANT LES EFFLUENTS LIQUIDES RADIOACTIFS DES SERVICES DE MEDECINE NUCLEAIRE

Quatre textes principaux recensent les conditions d'utilisation et de gestion des sources radioactives non scellées dans les établissements de santé français, et notamment par leurs services de médecine nucléaire :

- Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 (modifiée) relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.
- Arrêté du 30 octobre 1981 relatif aux conditions d'emploi des radioisotopes artificiels utilisés en sources non scellées à des fins médicales et plus précisément l'article 8 portant sur le stockage et l'élimination des effluents liquides.
- Article L1331-10 du chapitre 1 du code de la santé publique établi par la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 article 3.
- Circulaire DGS/SD7 D/DHOS/E 4 n° 2001-323 du 9 juillet 2001 relative à la gestion des effluents et des déchets d'activités de soins contaminés par des radionucléides.

L'arrêté du 30 octobre 1981 impose clairement l'obligation de stockage des effluents liquides provenant des laboratoires de médecine nucléaire et des services de diagnostic et de thérapie dans des cuves présentant des caractéristiques d'étanchéité et de capacité précises. Toutefois la circulaire DGS/SD7 D/DHOS/E recommande que des cuves distinctes récupèrent d'une part les rejets provenant des laboratoires et d'autre part les urines des patients traités par des injections d'iode 131 d'une activité supérieure à 740 MBq.

Cet arrêté recommande également que la vidange de ces cuves soit effectuée lorsque l'activité volumique est inférieure à 7 Bq/l dans un cours d'eau ou un émissaire dont le débit minimal doit être de 5 m³/s, ou par un dispositif présentant des garanties identiques.

Toutefois la circulaire du 9 juillet 2001 insiste sur le fait que cette valeur de 7 Bq/l se déduit par une mesure de l'activité de la cuve avant sa fermeture, associée à un calcul de décroissance et non par une mesure avant rejet.

De plus cette activité de 7 Bq/l ne peut pas s'appliquer aux cuves contenant de façon prépondérante de l'iode 131, la valeur guide est alors fixée à 100 Bq/l.

Les vidanges des cuves ne doivent, en outre, pas entraîner un dépassement de la valeur admissible pour l'activité volumique moyenne des effluents en sortie de collecteur qui ont pour niveaux guides les valeurs suivantes :

- 1000 Bq/l pour le technétium 99 métastable,
- 100 Bq/l pour les autres radioisotopes.

Ces valeurs doivent être contrôlées soit de façon continue par un détecteur adapté, soit par un prélèvement de 8 heures pendant les périodes de rejet les plus importants et cela au moins 4 fois par an.

Les niveaux guides indiqués précédemment ne peuvent pas être considérés comme des valeurs limites à la sortie de l'émissaire de l'établissement tant que la transposition de la directive EURATOM 96/29 n'aura pas été réalisée. C'est pourquoi le contexte réglementaire, notamment l'arrêté du 30 octobre 1981, reste maintenu.

Les établissements doivent, à ce jour, posséder un plan de gestion interne permettant d'obtenir l'autorisation de déversement des effluents liquides, établie conformément à l'article L.1331-10 du code de la santé publique. Cet article pose les bases de l'autorisation de déversement en indiquant que les rejets doivent respecter des caractéristiques précises, et que l'autorisation peut être subordonnée à la participation, de l'auteur du déversement, aux dépenses du premier établissement d'entretien et d'exploitation du réseau de collecte des eaux usées.

La compensation financière introduite par l'article 1331-10 du code de la santé publique est soutenue par la loi n°75-633 du 15 juillet 1975 (modifiée) relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux qui introduit l'idée que le producteur des déchets est responsable de l'élimination des déchets qu'il produit mais aussi qu'il doit supporter la totalité des charges financières liées à l'élimination de ce déchet.

3.2.2 CONSEQUENCES

Les établissements de soins français pratiquant des activités de médecine nucléaire sont donc dans l'obligation de mettre en œuvre des moyens de radioprotection visant à limiter le risque d'exposition du personnel, des patients et de l'environnement.

Ainsi, chaque établissement de santé doit rédiger un plan de gestion interne des déchets et effluents marqués radiologiquement afin de préciser leurs pratiques et d'assurer une traçabilité maximale de la radioactivité utilisée.

Ces dispositions permettent notamment la prise en considération de chaque source radioactive achetée allant de son arrivée dans le service de médecine nucléaire jusqu'à son élimination, en passant par son utilisation, son stockage ainsi que tous les moyens mis en œuvre pour assurer les bonnes pratiques en matière de radioprotection.

Plus concrètement, chaque service de médecine nucléaire doit consigner dans des registres spécifiques les dates, natures, activités, etc., des sources entrant, mais également les administrations effectuées et leurs voies d'élimination (déchets liquides ou solides).

La difficulté réside donc dans le caractère ambulatoire de certains patients qui, après un diagnostic par exemple, peuvent retourner dans le service d'hospitalisation d'origine (hors service de médecine nucléaire) ou tout simplement retourner à leur domicile.

Dans ces deux cas, il est certain que les urines et selles de ces patients seront intégralement déversées dans le réseau d'assainissement.

Dans le cas d'une thérapie à l'iode 131, l'utilisation de toilettes séparant les urines des selles, induit la présence certaine de selles marquées à l'iode 131 dans le réseau d'assainissement.

Enfin, il est important de pointer du doigt la difficulté introduite par la valeur minimale du débit de dilution exigible lors des rejets par les services de médecine nucléaire au réseau d'assainissement ($5 \text{ m}^3/\text{s}$), dans l'arrêté du 30 octobre 1981.

Cette valeur a été retenue pour le calcul des valeurs admissibles, pour les radioisotopes de médecine nucléaire, après dilution dans le réseau d'assainissement, au point de rejet des émissaires hospitaliers.

A titre de comparaison, le débit d'entrée de la totalité des effluents de la station de dépollution d'Achères (ville de Paris) est d'environ $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la station de dépollution de Toulouse). Les ordres de grandeurs pour des hôpitaux très souvent situés bien en amont des réseaux d'assainissement sont donc bien inférieurs à la valeur de $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il est donc important de tenir compte de cet état de fait pour une analyse critique de l'ensemble du problème étudié.

4 ETAT DES CONNAISSANCES

4.1 PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

4.1.1 LE CENTRE HOSPITALIER REGIONAL DE TOULOUSE

Le CHR de Toulouse est constitué de 3 sites géographiquement distincts :

- l'hôpital de Rangueil,
- l'hôpital Purpan,
- l'hôpital La Grave.

Chacun de ces hôpitaux dispose de plusieurs services utilisant des radioisotopes avec des activités mises en œuvre annuellement variables. Seul le service de médecine nucléaire (diagnostic in vivo et irradiation) du CHR de Rangueil sera détaillé ci-après car il s'agit de l'établissement français qui possède les activités manipulées annuellement les plus importantes, principalement pour le technétium 99 métastable et pour l'iode 131.

Le service de médecine nucléaire de l'hôpital de Rangueil détient chaque année :

- Diagnostic :
 - ^{99m}Tc (1800 GBq)
 - ^{201}Tl (5 GBq)
 - ^{67}Ga (250 MBq)
 - ^{123}I (740 MBq)
 - ^{111}In (250 MBq)
 - ^{90}Y (5 GBq)
 - ^{169}Er (555 MBq)
 - ^{125}I (450 MBq)
 - ^{57}Co (6 MBq)
 - ^{131}I (400 MBq)
- Thérapie :
 - ^{131}I (700 GBq)

Des moyens de conditionnement des déchets et de contrôle de la radioactivité sont à la disposition des unités de l'hôpital de Rangueil. Des locaux spécifiques de stockage répondant aux dispositions de l'arrêté du 30 octobre 1981 et de la circulaire du 9 juillet 2001 ont également été mis en place.

L'hôpital de Rangueil possède un dispositif de mesure de la radioactivité des déchets à la sortie des services de médecine nucléaire mais également un portique de détection du rayonnement gamma en sortie de site.

Il dispose également de cuves tampons pour les effluents rejetés par la médecine nucléaire et le laboratoire. Une partie des effluents provenant de la recherche biomédicale ou du diagnostic in vitro est éliminée par l'ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADIOactifs).

4.1.1.1 Le service de médecine nucléaire (diagnostic) :

Le tri des effluents liquides radioactifs est effectué en deux catégories en fonction des radioisotopes présents : l'iode 131 et les radioisotopes ayant une période inférieure à 8 jours :

- Restes de solutions, de préparation, de dose ou urines contenant des radioisotopes ayant une période inférieure à 8 jours : conditionnement dans deux cuves tampons de 2,5 m³.
- Urines contenant de l'iode 131 : conditionnement dans trois cuves tampons de 4 m³.

4.1.1.2 Le pavillon Louis Bugnard (thérapie) :

Aucun tri n'est réalisé car seul l'iode 131 est présent dans les urines récupérées. C'est pourquoi ces effluents s'additionnent à ceux émis par le service de médecine nucléaire, secteur diagnostic in vivo, et sont dirigés vers les trois cuves de 4 m³.

Un contrôle trimestriel est réalisé au niveau du collecteur général des eaux usées de l'hôpital de Rangueil ainsi qu'au niveau du raccordement entre le réseau de l'hôpital et celui de Toulouse.

Le prélèvement et l'analyse sont effectués en continu sur une durée de 8 heures par un laboratoire indépendant.

Les résultats permettent de déterminer l'activité volumique moyenne en Bq.l⁻¹ qui est communiquée à la personne compétente du CHR. Ces résultats doivent être communiqués aux autorités lors d'un contrôle.

4.1.2 LE CENTRE DE RECHERCHE ET DE LUTTE CONTRE LE CANCER CLAUDIUS REGAUD

Un seul service de médecine nucléaire utilise à l'Institut Claudius Regaud le technétium 99 métastable et l'iode 131, radioisotopes régulièrement détectés par la sonde fixe de Ginestous, mais également le fluor 18 ainsi que d'autres radioisotopes non utilisés au CHR de Rangueil. Les activités énumérées ci-après sont celles qui ont été utilisées au service de médecine nucléaire au cours des huit premiers mois de l'année 2004.

- Diagnostic in vivo et thérapie :
 - ^{99m}Tc (1110 GBq)
 - ^{18}F (182 GBq)
 - ^{111}In (104 GBq)
 - ^{153}Sm (5 GBq)

- Thérapie :
 - ^{131}I (563 GBq)

Des moyens de conditionnement des déchets et de contrôle de la radioactivité sont à la disposition des unités.

Des locaux spécifiques de stockage répondant aux dispositions de l'arrêté du 30 octobre 1981 et de la circulaire du 9 juillet 2001 existent à l'ICR.

L'ICR possède un dispositif fixe de mesure de la radioactivité des déchets à la sortie des services de médecine nucléaire.

Il dispose aussi de cuves tampons pour la médecine nucléaire mais une partie des effluents provenant de la recherche sont éliminés par l'ANDRA.

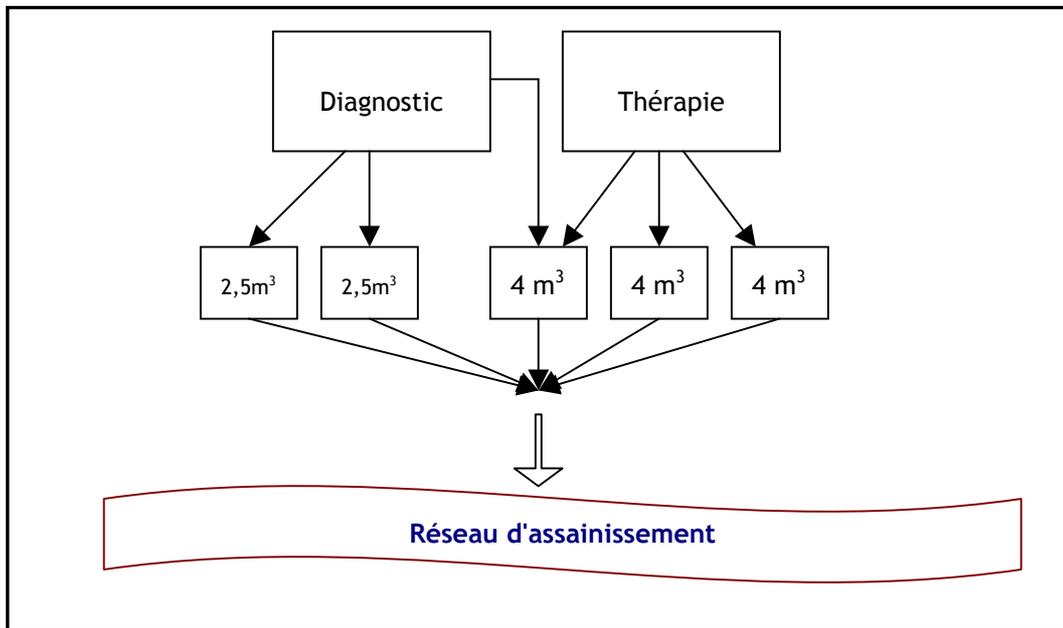
Le tri des effluents liquides radioactifs est effectué selon 2 catégories : les urines des patients ayant subi une thérapie à l'iode 131 et les urines et selles des patients ayant subi un diagnostic (iode 131, technétium 99 métastable,...) :

- Diagnostic *in vivo* : une fosse tampon de 3 m³
- Irrathérapie : six cuves tampons de 4 m³

Aucun contrôle semestriel n'est réalisé pour l'instant au niveau du collecteur général des eaux usées de l'ICR ainsi qu'au niveau du raccordement entre ce collecteur et le réseau d'assainissement de Toulouse. Un projet d'implantation d'un système de contrôle est en cours d'étude mais bute sur la difficulté à trouver un endroit facile d'accès et où le prélèvement sera significatif.

4.1.3 SYNTHÈSE

Hôpital de Rangueil



Institut Claudius Regaud

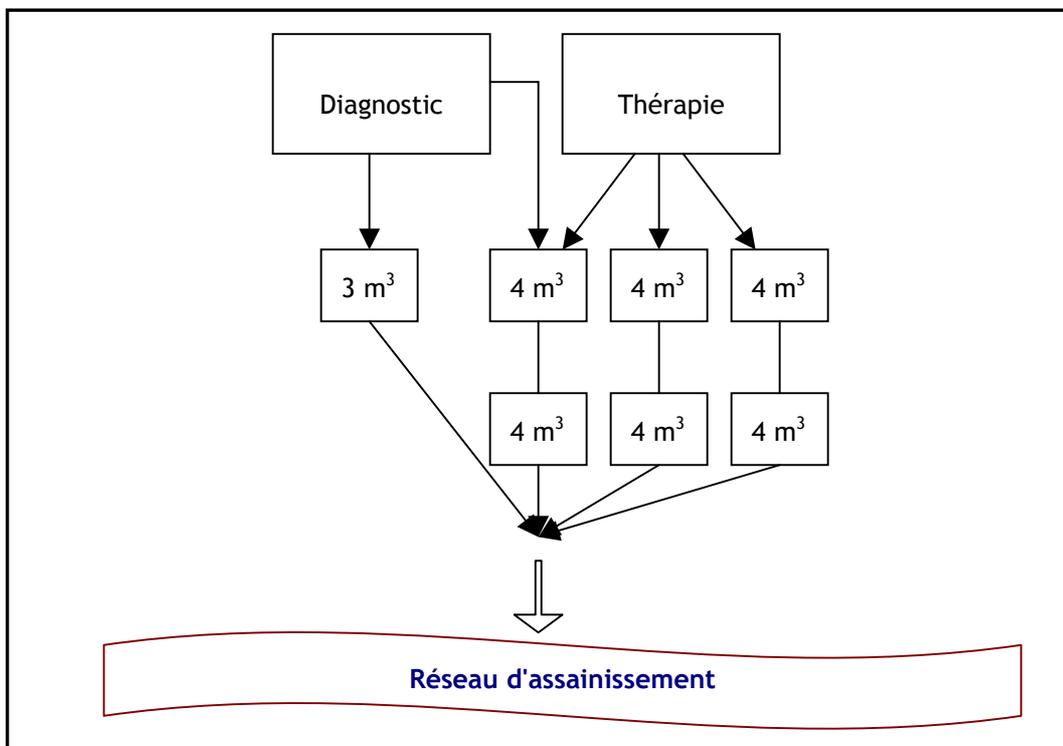


Figure 1 : Schémas présentant les dispositifs de collecte des effluents contaminés radiologiquement des services de médecine nucléaire de l'hôpital de Rangueil et de l'institut Claudius Regaud.

4.2 LE TECHNETIUM 99 METASTABLE ET L'IODE 131

Il est intéressant de faire un bilan des différents radioisotopes administrés durant la période de notre étude au sein des deux établissements avec lesquels nous avons collaboré.

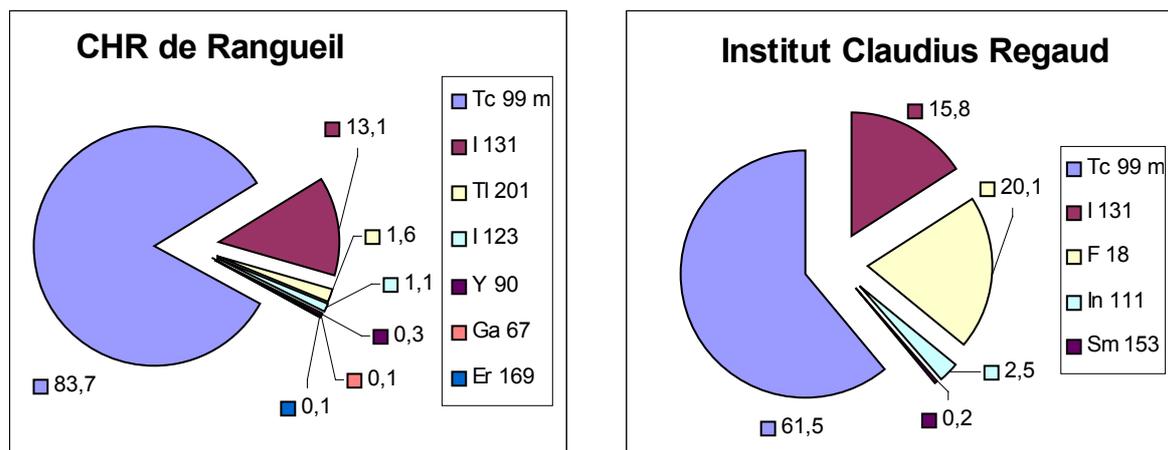


Figure 2 : Diagrammes de répartition du pourcentage des activités de radioisotopes injectés respectivement au CHR de Rangueil (pour 1182 injections) et à l'ICR (pour 603 injections) en 2003.

Comme le montrent les deux diagrammes ci-dessus, la médecine nucléaire met en œuvre de nombreux radioisotopes et notamment le technétium 99 métastable et l'iode 131 qui sont les plus abondamment utilisés.

Compte tenu de sa courte demi-vie (6 heures), le technétium 99 métastable pose généralement moins de problèmes radiologiques que l'iode 131 (période de 8 jours). C'est pourquoi, bien que le radioisotope le plus abondant soit le technétium 99 métastable, une attention particulière sera accordée à l'iode 131 au cours de cette étude.

4.2.1 LE TECHNETIUM 99 METASTABLE (^{99m}Tc) :

Le technétium est l'un des rares radioéléments qui n'existe pas à l'état naturel sur Terre. C'est la raison pour laquelle il doit être produit artificiellement. Il est possible d'obtenir du ^{99m}Tc par élution du ^{99}Mo (molybdène 99) au sein d'un appareil appelé "générateur à technétium".

En éluant une colonne d'oxyde d'aluminium, sur laquelle est fixé du ^{99}Mo , avec une solution aqueuse isotonique, on obtient une solution de pertechnétate actif (TcO_4^- radioactif), tandis que le molybdène reste à l'état lié.

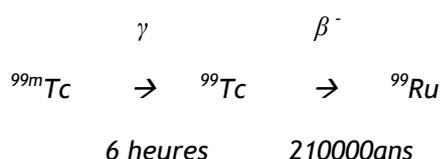
Cet isotope est utilisé comme source de rayonnement pour les examens médicaux car c'est un émetteur de rayons gamma possédant une demi-vie de six heures.

Pour procéder à l'exploration de nombreux organes (os, cœur, poumons, reins, moelle osseuse...) le technétium 99 métastable est lié à une molécule organique ayant une affinité avec l'organe cible. C'est cette molécule qui va permettre l'acheminement du radioisotope vers la zone à explorer.

L'utilisation du technétium 99 métastable offre les avantages suivants :

- l'enregistrement de clichés à l'aide de gamma caméras n'est pas perturbé par la présence d'autres isotopes du technétium du fait de leur inexistence naturelle.
- la demi-vie est suffisamment longue pour procéder aux mesures cliniques et suffisamment courte pour limiter autant que possible l'exposition à un rayonnement.

Du fait de son caractère métastable, le technétium se désintègre de la manière suivante :



Le technétium 99 métastable se désintègre en technétium 99 dont la période très longue diminue finalement la toxicité radiologique de ce dernier. Cependant il ne faut pas négliger la possibilité de pollution des eaux par le métal technétium à des degrés d'oxydation divers.

Si on calcule la masse de technétium 99 métastable détenue par un établissement à partir de l'activité massique (DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P., 2003), il est possible de mieux apprécier les quantités mises en jeu.

En utilisant la valeur des activités annuelles détenues par le CHR de Rangueil, on obtient la masse de technétium 99 théorique rejetée au cours d'une année dans le réseau d'assainissement par ce seul établissement en utilisant la relation :

$$m = A / A_m$$

où A est l'activité en technétium 99 métastable détenue par an en Bq, soit 1800 GBq

A_m est l'activité massique du technétium 99 métastable, soit $1,95 \cdot 10^{17} \text{ Bq.g}^{-1}$

On peut en déduire que la masse de technétium 99 détenue par an, par le CHR de Rangueil, est de l'ordre de 10^{-5} grammes.

La radioactivité est présente mais les masses mises en jeu et la longue période du technétium 99 rendent sa détection difficile. On pourrait cependant envisager une étude succincte fondée sur des prélèvements de bioindicateurs pertinents.

4.2.2 L'IODE 131(¹³¹I) :

L'iode est un élément naturellement présent sur Terre et son isotope 131, d'origine anthropique, se désintègre en émettant des rayonnements bêta et gamma avec une période de 8,02 jours.

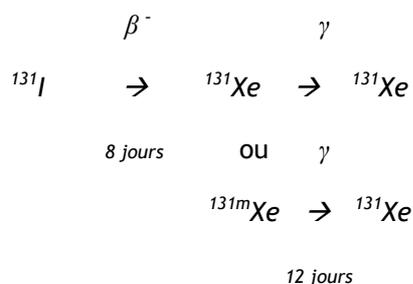
En médecine nucléaire, l'iode 131 peut se présenter sous la forme d'iodure de sodium soit liquide en solution injectable, soit sous forme de poudre dans une gélule ou bien lié à des molécules plus complexes.

Les activités d'iode 131 mises en jeu vont de quelques centaines de MBq pour une petite thérapie (hyperthyroïdie) à plusieurs milliers de MBq pour une grosse thérapie (cancéreuse).

L'utilisation de l'iode 131 offre les avantages suivants :

- il se comporte comme un traceur vis-à-vis de l'iode non radioactif.
- la demi-vie est suffisamment longue pour procéder aux mesures cliniques et suffisamment courte pour limiter autant que possible l'exposition aux rayonnements.

La désintégration de l'¹³¹I s'effectue ainsi :



NB : Il est possible d'avoir un état intermédiaire autre que l'état excité : ^{131m}Xe, mais celui-ci se produit dans moins de 1% des cas. Sa période est 12 jours.

Même si dans le cas de l'iode 131, la toxicité radiologique prime sur la toxicité chimique, il est intéressant de calculer la masse annuellement mise en oeuvre par un service de médecine nucléaire comme celui du CHR de Toulouse :

$$m = A / A_m$$

où A est l'activité détenue par an en Bq, soit 700 GBq

A_m est l'activité massique de l'iode 131, soit 4,61.10¹⁵ Bq.g⁻¹,

La masse théorique pouvant être rejetée chaque année par un établissement hospitalier comme celui de Rangueil, est de l'ordre de **0,15 mg d'¹³¹I**.

La toxicité radiologique de l'iode 131 ne peut pas pour autant être négligée même à de si faibles masses, c'est pourquoi des mesures de radioprotection de l'homme et de l'environnement doivent être mises en place (une goutte d'iode 131 pur sur une partie du corps humain peut engendrer un trou dû à la destruction des cellules par irradiation, c'est la raison pour laquelle il n'est plus administré par injection mais par ingestion).

Bien que la dilution dans le réseau d'assainissement et la Garonne soit élevée, cela suffit à atténuer mais pas à éliminer le risque radiologique. La récupération des urines est donc très importante pour assurer la décroissance de l'iode 131.

Le descendant de l'iode 131, le xénon 131, ne présente pas de toxicité puisqu'il s'agit d'un gaz rare stable. Une fois la décroissance totale de l'iode 131 dans les cuves tampon et dans le milieu récepteur, le xénon se dilue dans l'atmosphère.

4.2.3 CONCLUSION

Au delà de cette étude qui s'intéresse aux seuls radioisotopes émetteurs γ dans le réseau d'assainissement et l'usine de dépollution, il est déjà possible d'envisager que des études portant sur l'aval des stations de dépollution et fondées sur des prélèvements de bioindicateurs devront être réalisées. Ces études devront par ailleurs permettre d'étendre les mesures aux émetteurs β purs et devront permettre également d'évaluer le réel impact environnemental de la médecine nucléaire, pour une information complète aux DDASS et DRIRE.

4.2.4 LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT TOULOUSAIN ET LA STATION DE DEPOLLUTION DE GINESTOUS

4.2.4.1 Fonctionnement du réseau d'assainissement

Ce réseau de type séparatif est composé de huit bassins versants (désignés par les lettres A, B, C, D, E, F et M) à l'échelle de l'agglomération et collectant les eaux usées de Toulouse ainsi que quelques communes environnantes. Ces dernières sont dirigées en totalité vers l'usine d'épuration de Ginestous mais arrivent par deux entrées distinctes : le poste nord et le poste sud.

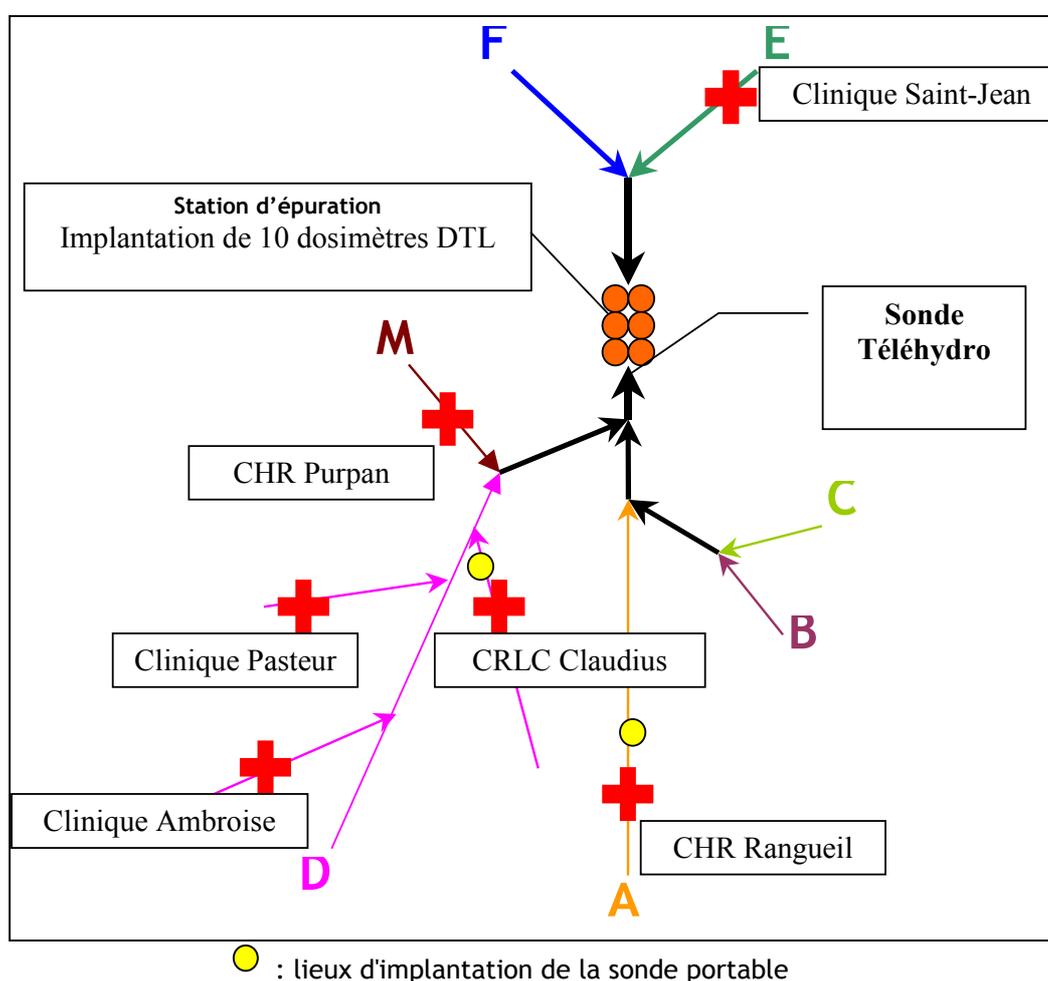


Figure 3 : Schéma de l'implantation de la sonde Téléhydro portable par rapport aux établissements hospitaliers

Ainsi, les eaux usées des bassins versants A, B, C, D et M sont dirigées vers le poste sud, les autres émissaires étant dirigés vers le poste nord (E et F).

Il est important de noter qu'un maillage est mis en œuvre du poste nord vers le poste sud, ce dernier permettant de délester l'entrée nord d'environ un tiers du débit vers l'entrée sud.

Les deux établissements étudiés (CHU Ranguel et CRLC Claudius Regaud) sont situés sur les émissaires A et D, ce qui signifie que leurs rejets sont dirigés vers le poste sud uniquement.

L'usine d'épuration réalise la dépollution des effluents domestiques contenus dans les eaux usées, après un premier dégrillage, au cours de différents processus (dessablage, dégraissage, décantation, aération, clarification). Ces étapes engendrent la production de boues résultant de la séparation des matières en suspension de l'eau.

La filière "boue" quant à elle, est composée de dispositifs de conditionnement sous forme de granulés et de compost, ainsi que de dispositifs d'élimination sous forme d'incinération. Les granulés et le compost sont valorisés en épandage agricole alors que les sous-produits d'incinération, les mâchefers et les résidus, sont actuellement enfouis en CTDSU (assimilés à des déchets ultimes).

4.2.4.2 Analyse des processus d'assainissement

L'utilisation de charbons actifs servant à capter les éléments traces métalliques présents en phase gazeuse (Hg) et d'autres polluants éventuels (dioxines, furane et Nox), entre les électrofiltres et les filtres à manches, a un effet également connu sur l'iode 131 contenu dans les résidus d'incinération. L'iode 131 a en effet la particularité d'avoir une très forte affinité pour les charbons actifs et ces derniers sont d'ailleurs utilisés comme pièges à iode dans l'industrie nucléaire.

Même si la teneur en iode 131 de ces résidus est inférieure aux valeurs réglementaires en terme de dose, leur simple présence conduit à des déclenchements de portiques de détection de la radioactivité et donc à des refus d'entrée des sites d'enfouissement technique. Cela oblige la CGE à effectuer un stockage nécessairement coûteux en attendant la décroissance totale de l'iode 131.

Une étude menée sur la ville de Caen (ACRO, 2000) avait déjà permis de pointer le problème en identifiant trois radioisotopes principaux dans les boues (^{131}I , ^{201}Tl , ^{111}In) à des teneurs allant de 100 à 500 Bq.kg⁻¹ sec. Le technétium 99 métastable, détecté pourtant de façon prépondérante, n'est pas mesuré dans les boues issues du traitement de l'eau en raison de sa courte demi-vie et du long temps de transit de ces dernières au sein des usines d'épuration. Cette étude avait aussi attiré l'attention sur le caractère très volatil de l'iode 131 qui peut s'échapper par la cheminée avec la vapeur d'eau. C'est pourquoi, le traitement au charbon actif limite vraisemblablement aussi la teneur en iode 131 à la cheminée d'évacuation des fumées d'incinération.

Des mesures par piquage à la cheminée de l'incinérateur de l'usine de dépollution de Toulouse - Ginestous ont été réalisées par ailleurs et n'ont pas révélé la présence de radioactivité.

5 MATERIEL ET METHODE

Afin de répondre aux interrogations de la CGE, une stratégie de surveillance de la radioactivité au sein du réseau d'assainissement a été mise en place. Parallèlement, un suivi dosimétrique de l'exposition au rayonnement γ de l'usine de dépollution de Ginestous a été effectué pour évaluer l'impact de la radioactivité artificielle d'origine médicale au sein de l'usine.

5.1 DETERMINATION DES SOURCES DE REJET D'EFFLUENTS RADIOACTIFS

Un des principaux objectifs de cette étude est de déterminer si les services de médecine nucléaire du CHR de Rangueil et de l'Institut Claudius Regaud, sont bien à l'origine de la majorité des effluents radioactifs détectés dans le réseau d'assainissement de la ville de Toulouse. La stratégie de surveillance est détaillée ci-après.

5.1.1 CHOIX DES LIEUX D'IMPLANTATION DE LA SONDE PORTABLE

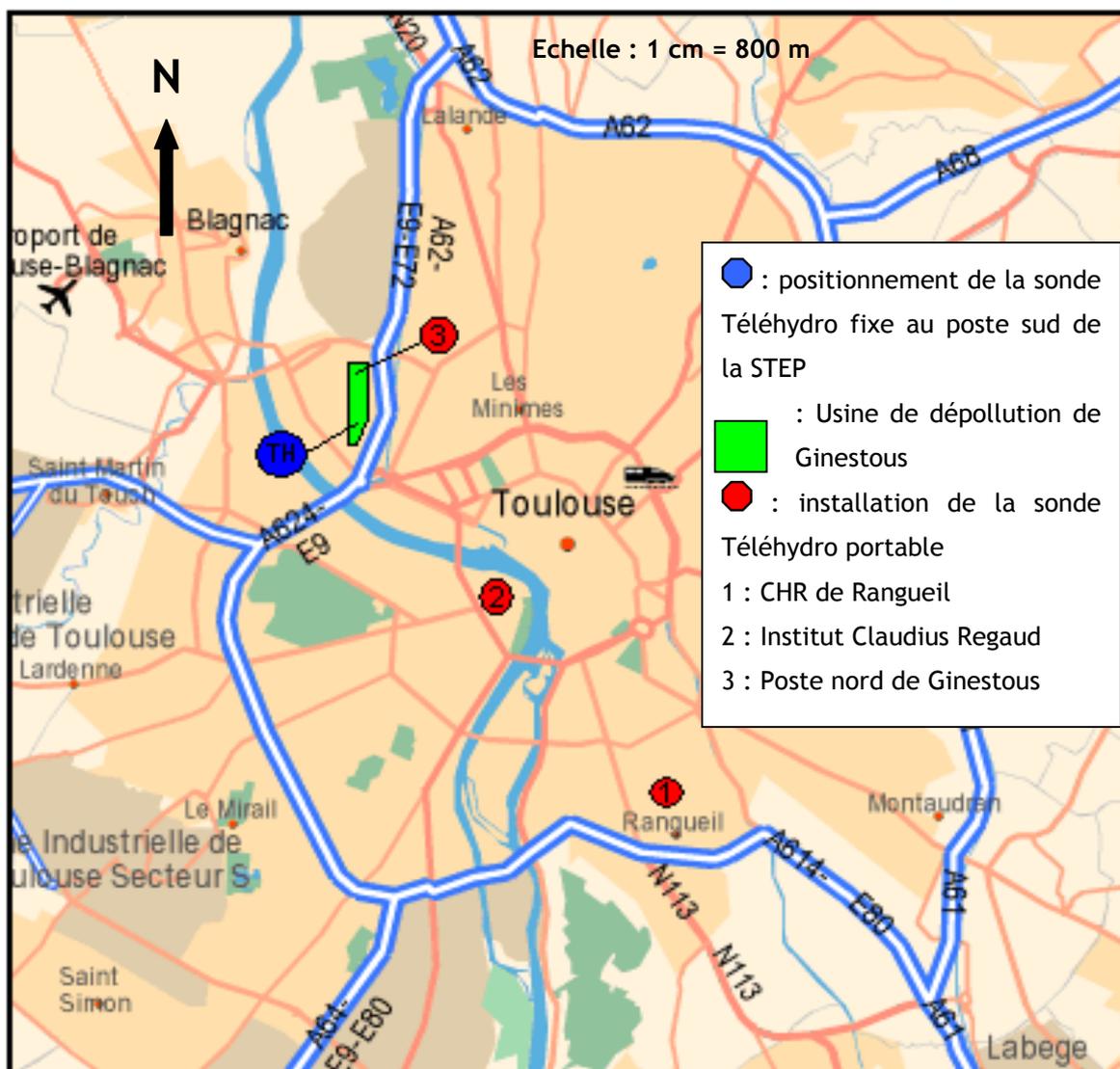


Figure 4 : Plan de la ville de Toulouse et implantation des points de mesure

En complément, la sonde Télhydro fixe a mesuré en continu la radioactivité présente dans les eaux usées arrivant par le poste sud de la station de dépollution. C'est par ce poste qu'arrivent les effluents des deux services de médecine nucléaire. Ce bassin versant est également celui qui draine le volume d'eaux usées le plus important.

La sonde Télhydro portable a été implantée en des points stratégiques du réseau retenus avec les responsables de la CGE (cf. Figures 2 et 3) :

- L'émissaire général de l'hôpital de Rangueil qui collecte l'ensemble des eaux usées de l'établissement (1).
- Le point de relevage des eaux usées d'Estrapade proche de la collecte des effluents de l'Institut Claudius Regaud (2).

- Le poste nord de la station de dépollution de Toulouse, deuxième point d'entrée des effluents à Ginestous (3).

De plus, une analyse approfondie de tous les spectres a été réalisée afin de vérifier la présence éventuelle d'autres radioisotopes que ceux recherchés.

5.1.2 INSTALLATION A L'EMISSAIRE DU CHR DE RANGUEIL



Afin d'obtenir des mesures représentatives des rejets du CHR de Rangueil, il est important de se situer en un point où la dilution est minimale. C'est pourquoi la sonde portable a été implantée à la sortie du collecteur principal des eaux usées, dans un ancien poste d'épuration

Figure 5 : Lieu d'implantation de la sonde portable

Un aménagement a été nécessaire afin de pouvoir implanter la sonde dans des conditions expérimentales optimales, c'est-à-dire dans environ un mètre cube de volume. Un batardeau a donc été placé peu après l'émissaire afin de réaliser une retenue d'eau artificielle tout en permettant le débordement des eaux.

L'entretien de la sonde ainsi que la vérification de son fonctionnement a été assuré par le personnel de l'hôpital.

Figure 6 : Dispositif mis en place pour les mesures et l'intercomparaison



5.1.3 INSTALLATION A L'EMISSAIRE DE L'INSTITUT CLAUDIUS REGAUD (ICR)

Afin de réaliser les mesures des rejets potentiels de l'ICR, il aurait été nécessaire d'implanter la sonde à la sortie du collecteur principal. Cependant, l'implantation de la sonde n'a pu être possible en ce lieu en raison d'un volume d'eau insuffisant. Elle a donc été placée au poste de relevage le plus proche de l'institut : la place de l'Estrapade.



Le poste de relevage de la place de l'Estrapade se situe au milieu d'un quartier de Toulouse. Il faudra donc tenir compte de la dilution due aux effluents provenant de l'ensemble des riverains du quartier.

Figure 7 : Installation de l'ordinateur au poste de relevage

Toutefois cette dilution est suffisamment limitée pour que la sensibilité de la sonde permette de mesurer les variations de radioactivité

potentiellement présente.

L'ordinateur a été placé dans un local à part, le mettant ainsi à l'abri de l'ambiance très agressive du milieu. L'antenne a été disposée de façon à ce que la communication et l'échange de données s'effectuent sans problème.

La sonde a été placée directement dans le flux d'eaux usées. Le volume d'eau est suffisamment important durant toute la journée pour que les conditions de mesure soient correctes.

Figure 8 : Installation de la sonde dans la canalisation d'eaux usées



L'entretien de la sonde ainsi que la vérification de son fonctionnement a été assuré par le personnel de la CGE.

5.1.4 METHODE DE VALIDATION DES MESURES DES SONDES TELEHYDRO

Afin de connaître le degré de fiabilité des mesures effectuées par la sonde, il nous a semblé intéressant de comparer la télémessure à des mesures effectuées en laboratoire sur des prélèvements, et dont les résultats sont des valeurs de référence.

Les prélèvements ont été réalisés à la sortie du collecteur d'eaux usées de l'hôpital de Ranguel, à l'endroit exact où se situait la sonde lors de l'étude.

La sonde a été implantée dans la veine de rejet afin d'avoir les mesures les plus représentatives possibles et le tuyau de prélèvement était positionné au niveau du détecteur de la sonde.

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une pompe péristaltique sur laquelle le débit a été réglé de façon à obtenir un volume de 500 ml en 15 minutes.



Le temps de 15 minutes correspond au temps d'intégration d'un spectre par la sonde portable (c'est à dire l'obtention d'une mesure d'activité volumique). Le volume de 500 ml correspond au volume du flacon normalisé pour réaliser la spectrométrie gamma en laboratoire.

Figure 9 : Pompe péristaltique utilisée pour le prélèvement

Une série de cinq prélèvements a été réalisée afin de disposer d'une bonne intercomparaison des valeurs. Les

échantillons ont été d'abord mesurés à l'état brut puis après filtration, afin de déterminer la part de radioactivité fixée sur les matières solides en suspension.

Les mesures obtenues dans les deux configurations, bien que réalisées selon des modes opératoires différents, sont donc théoriquement comparables.

5.2 VERIFICATION DE L'EFFICACITE DES CUVES DE DECROISSANCE

Afin de vérifier que la vidange des cuves est bien effectuée à une activité volumique inférieure à 7 Bq/l, nous avons demandé les registres de vidange des cuves fournissant la date et l'heure de chaque vidange ainsi que les valeurs des mesures des prélèvements de contrôle. La comparaison des vidanges aux données acquises par la sonde, permet de contrôler s'il existe un impact significatif dans le réseau d'eaux usées lors des rejets.

En tout état de cause, il est d'ores et déjà clair que les mesures enregistrées par la sonde Téléhydro du poste sud de Ginestous, montrant nombre de pics significatifs en iode 131 et technétium 99 métastable, ne sont pas le simple résultat des vidanges de ces cuves (moins d'une cinquantaine de vidanges annuelles par service).

5.3 ESTIMATION DES FLUX ET DU POUVOIR DE DILUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT TOULOUSAIN

5.3.1 EVALUATION DU TERME SOURCE

En préalable à toute estimation du flux de radioactivité dans un bassin versant, il est nécessaire de déterminer un terme source, d'avoir des données sur les débits et de les mettre en relation avec des concentrations.

Etant bien entendu qu'un contrôle des urines et selles de tous les patients est impossible, une estimation de l'activité quotidienne ou hebdomadaire est possible à l'aide des données de la littérature concernant l'élimination biologique de la radioactivité.

Dans le cas de notre étude, nous pouvons avoir accès aux registres des activités administrées aux patients.

Une étude réalisée pour le Centre Eugène Marquis de Rennes (Laugle *et al.*, 1999) propose de modéliser l'élimination de la radioactivité des patients ayant ingéré de l'iode 131 par un modèle compartimental ouvert à transfert irréversible (voir figure ci-dessous).

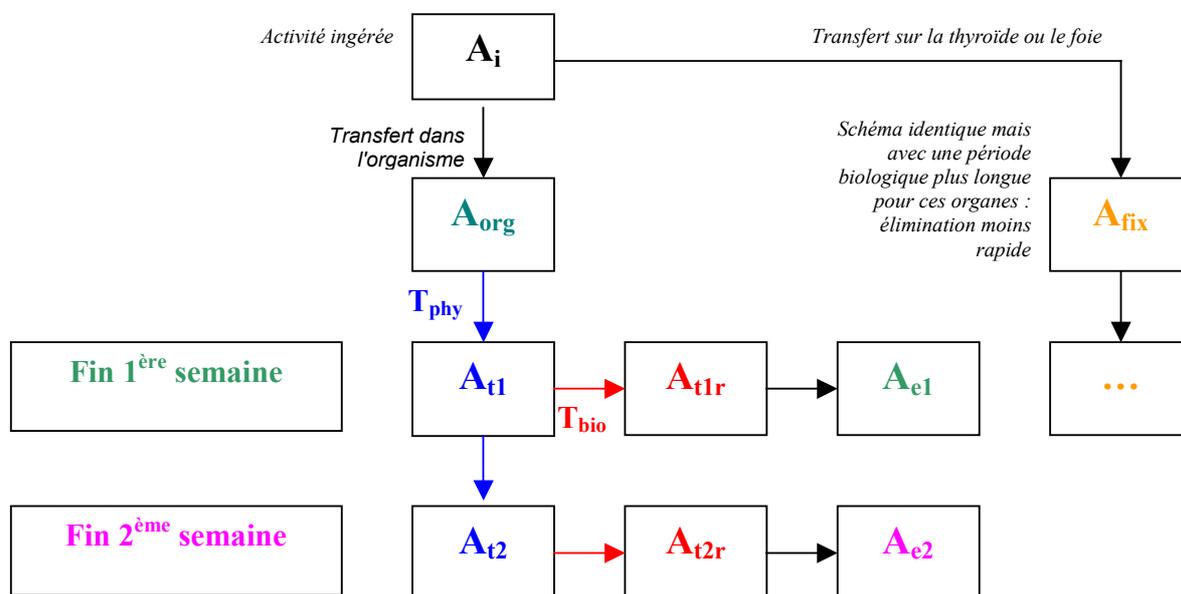


Figure 10 : Schéma présentant le principe du modèle compartimental ouvert à transfert irréversible

Cette étude montre que l'iode ingéré pour la thérapie d'un cancer thyroïdien va se répartir de deux façons différentes dans l'organisme et ainsi être éliminé selon des cinétiques sensiblement différentes :

- La première cinétique concerne l'iode qui va se fixer sur les métastases thyroïdiennes (30%).
- La seconde cinétique concerne l'iode se répartissant dans l'organisme entier (70%).

Dans le cas d'une thérapie hépatique, le pourcentage d'iode 131 fixé par le foie est de 70%, le complément étant réparti dans l'organisme.

Ces deux cinétiques dépendent à la fois de la période physique du radioisotope considéré (T_{phy}) et de la période biologique liée à l'organe (T_{bio}) qui fixe le radioisotope. L'association de ces deux cinétiques engendre une élimination apparente du radioisotope selon une période que l'on qualifie d' "effective" (T_{eff}).

La relation permettant son calcul est la suivante :

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{bio}} + \frac{1}{T_{phy}}$$

L'activité ingérée ou injectée (A_i) étant connue, il est ensuite possible de décrire l'élimination de la radioactivité selon une méthode simple dont le principe consiste à estimer l'activité fixée sur l'organe traité (A_{fix}) et l'activité se répartissant dans le reste de l'organisme (A_{org}).

Les données bibliographiques permettent ensuite de calculer les cinétiques d'élimination et donc les activités A_{ti} et A_{ei} respectivement présente dans l'organisme au temps t_i et éliminée par le patient après un temps t_i .

Il convient ensuite d'évaluer la part d'élimination via les urines et via les selles, de l'élimination globale du patient au cours du temps, afin d'obtenir une estimation du terme source dans les deux cas.

Les informations collectées dans la littérature (CIPR 2003 ; Vandecasteele *et al.*, 2000) nous permettent d'estimer la part de radioactivité dans les selles à environ 15% de l'élimination totale du patient.

5.3.2 TRANSFERT DES RADIONUCLÉIDES AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT

La quantification des activités volumiques ne représente qu'une composante de l'estimation du flux de radionucléides transitant dans le réseau d'assainissement toulousain. Ces données sont donc inexploitable en l'état pour calculer un flux.

Il convient tout d'abord de réduire l'incertitude associée aux valeurs mesurées, ce qui est possible en réalisant un cumul de ces données sur de longues périodes. Cela permet notamment de ne pas avoir à rechercher le rapport entre chaque pic observé et les administrations (présence d'une fosse

tampon induisant un temps de transit plus ou moins long). De plus, le cumul de ces données, s'effectuant sur la base d'une ré-analyse systématique des spectres acquis par la sonde, les valeurs moyennes qui en résultent sont plus fiables.

Dans un deuxième temps, pour relier les activités volumiques mesurées à un flux de radionucléides, nous avons demandé à la CGE les valeurs de débit enregistrées par des débitmètres installés en certains points du réseau d'assainissement pendant la période d'étude. Dans le cas des établissements suivis, l'absence de débitmètre en ces points nous a empêchés d'avoir des valeurs. De fait, un suivi de la consommation d'eau des établissements étudiés (et de tout le quartier relié au poste de relevage de l'Estrapade dans le cas de l'institut Claudius Regaud) a été proposé et entrepris par le personnel de la CGE. Nous avons donc dû considérer que le volume d'eau consommé quotidiennement par les hôpitaux est quasi intégralement rejeté à l'égout.

L'utilisation des compteurs de consommation pour évaluer le débit à l'émissaire entraîne obligatoirement une erreur de volume car une partie de l'eau est notamment évacuée en cuve de décroissance. Toutefois cette approximation reste valable compte tenu du degré de précision auquel nous travaillons.

5.3.3 ESTIMATION DU FLUX DE RADIOACTIVITE DANS LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT

Afin de finaliser le calcul de ces flux, il est important d'estimer l'activité totale entrant dans la station de Ginestous. C'est pourquoi nous avons également pu obtenir les mesures de débit en entrée de la station de dépollution au poste nord comme au poste sud.

La connaissance de la masse de boues produites par mètre cube d'eau traitée ainsi que la valeur moyenne d'activité de chaque milieu (eaux et boues) nous permet de déterminer un flux de radioactivité précis. Enfin, une comparaison du flux de radioactivité entrant dans la station de dépollution avec le flux calculé par les mesures réalisées dans les boues issues du traitement des eaux usées sont une information importante pour l'étude.

5.4 IMPACT RELATIF DES ETABLISSEMENTS ET DES PATIENTS AMBULATOIRES

Après le traitement des résultats obtenus sur la sonde portable placée au CHR de Ranguel et à l'ICR ainsi que ceux de la sonde fixe de la station de dépollution de Ginestous, il sera possible de déterminer l'impact des deux établissements et des patients ambulatoires.

Une fois l'impact relatif déterminé, il est possible de connaître l'établissement contribuant le plus dans l'apport de radioactivité dans le réseau d'assainissement et également de pouvoir, par déduction, savoir si les établissements respectent les valeurs présentes dans la réglementation.

Les patients ambulatoires désignent les patients qui, généralement après un examen diagnostique, voire une "petite thérapie" (de l'ordre de 740 MBq), peuvent retourner à leur domicile ou dans un service d'hospitalisation "non nucléaire". Leurs urines ne sont donc dès lors plus stockées dans des cuves.

L'influence de ces patients ambulatoires pourra être mise en évidence en réalisant une soustraction des pourcentages des activités obtenues aux deux établissements à celui des activités obtenues à Ginestous.

5.5 MESURE DE L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE GAMMA AU SEIN DE LA STATION DE DEPOLLUTION

Le rayonnement gamma ambiant peut provenir de la radioactivité naturelle ou artificielle. En France, les débits de dose moyens mesurés par le réseau TELERAY, sont de 0,09 micrograys par heure ($\mu\text{Gy/h}$), avec des variations usuelles allant de 0,05 à 0,18 $\mu\text{Gy/h}$. Toutefois le débit de dose peut atteindre des valeurs plus élevées lorsqu'il y a une combinaison entre les rayonnements telluriques et cosmiques. A titre d'exemple, au pic de l'Aiguille du midi, la valeur moyenne mesurée est de 0,25 $\mu\text{Gy/h}$.

L'implantation de dosimètres thermoluminescents répond à une stratégie d'étude du rayonnement gamma ambiant en des points retenus conjointement avec la CGE. Ce complément d'étude a été demandé pour répondre aux inquiétudes des agents travaillant sur le site.

Les données recueillies permettront d'évaluer l'impact réel sur le personnel transitant dans l'usine de dépollution du fait de la présence de radioactivité artificielle d'origine médicale.

Dix dosimètres thermoluminescents ont été répartis en des points représentatifs des processus d'épuration, retenus conjointement avec la CGE, pendant six mois :

POINT 1 : Témoin

↳ afin de déterminer l'exposition naturelle, un DTL a été placé dans le bâtiment administratif de la station de dépollution,

POINT 2 : Réseau d'eaux usées

↳ placé au point de mesure d'Estrapade,

POINT 3 : Dégrilleur poste sud

↳ 1^{ère} étape de traitement des eaux usées (filière eau),

POINT 4 : Aération

↳ en relation avec le flottateur (filière eau),

POINT 5 : Flottateur poste sud

↳ en relation avec l'aération (filière boue),

POINT 6 : Silos granulés

↳ 1^{er} type de valorisation des boues (filière boue),

POINT 7 : Compostière

↳ 2^{ème} type de valorisation (filière boue),

POINT 8 : Trémies résidus

↳ dernière étape de la filière d'incinération avant élimination des résidus en CET,

POINT 9 : Silos résidus

↳ étape de stockage avant élimination (filière boue),

POINT 10 : Poste de commande usine

↳ emplacement confiné sans contact direct avec les eaux usées ou les boues.

La répartition géographique de ces DTL est visible sur le plan simplifié de l'usine de dépollution placé en annexe 6.

6 PRESENTATION DES RESULTATS

6.1 VALIDATION DES MESURES EN CONTINU DE LA SONDE

Les prélèvements ont été réalisés le 19 avril 2004 (juste avant le retrait de la sonde de l'émissaire du CHR de Rangueil) à l'aide du matériel précédemment décrit (cf. pages 30-31). Une filtration a été réalisée sur les deux échantillons contenant le plus d'iode 131 afin de déterminer si les matières en suspension fixent cette radioactivité. La filtration a été réalisée à l'aide de deux filtres superposés de porosité : 70 m/m et 90 m/m.

Les résultats obtenus par la sonde portable et en laboratoire sont présentés ci-dessous :

Tableau 2 : Données d'intercomparaison pour la validation de la sonde portable (incertitude à plus ou moins la valeur considérée)

Activités exprimées en Bq/l à la date de prélèvement : 19 avril 2004 à l'heure correspondant au milieu de période									
Mesures réalisées par la sonde Téléhydro portable			Mesures effectuées en laboratoire à partir de prélèvements					Résultats après filtration à 70 et 90 m/m	
Heure de mesure	99mTc	131I	Prélèvements	99mTc	Incertitude	131I	Incertitude	131I	Incertitude
13h46	985,6	16,3	de 13h 30 à 13h 49	2200	100	24	2		
14h07	966,8	52,7	de 13h 52 à 14h 07	1600	100	63	5		
14h22	598,9	0	de 14h 07 à 14h 18	990	60	4,4	0,9		
14h37	1389,5	785,5	de 14h 22 à 14h 33	3400	200	900	50	915,4	53,7
14h52	1334,4	380,9	de 14h 37 à 14h 52	2800	200	350	20	357,5	16,4

La fiabilité des mesures de la sonde est démontrée par les résultats obtenus, notamment pour l'iode 131. La corrélation présentée ci-dessous atteste de la bonne conformité des mesures de terrain vis-à-vis des mesures en laboratoire.

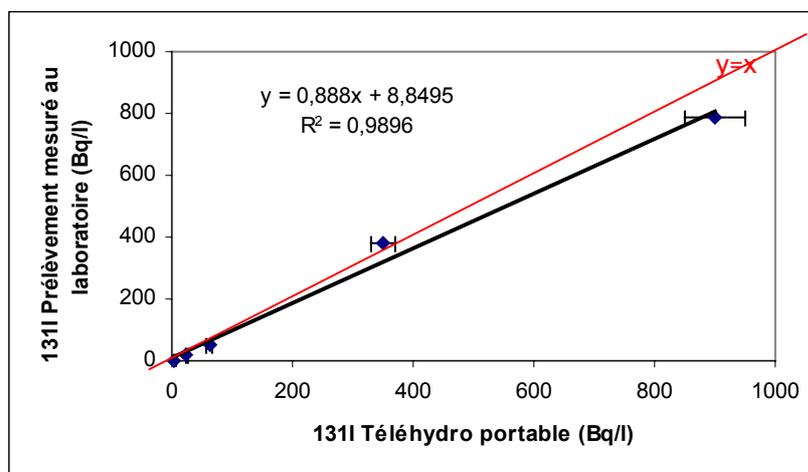


Figure 11 : Confrontation des résultats de mesure de l'iode 131 en laboratoire et sur le terrain

Même si le nombre de données est relativement faible du fait de la contrainte expérimentale, ce résultat n'est pas surprenant car l'énergie d'émission de l'iode 131 (365 keV) favorise sa détection par un cristal NaI (iodure de sodium).

Comparativement, le technétium 99 métastable dont l'énergie d'émission est plus faible (140keV), n'est pas détecté de la même façon. En effet, comme le présente le graphique ci-dessous, la mesure effectuée par notre sonde portable semble surestimer l'activité volumique du technétium 99 métastable *in situ*.

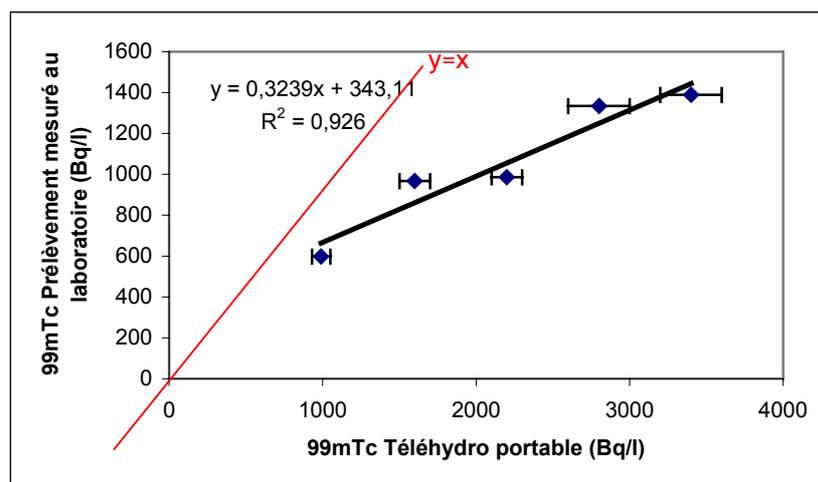


Figure 12 : Confrontation des résultats de mesure du technétium 99 métastable en laboratoire et sur le terrain

En effet, un facteur deux environ existe entre les mesures de laboratoire et celles de la sonde Téléhydro portable. Ceci s'explique vraisemblablement par le fait que le pic du technétium 99 métastable est beaucoup plus difficile à mettre en évidence dans le bruit de fond des basses énergies. De fait, sa forme et son intensité sont plus difficiles à quantifier, ce qui rend le calcul de l'activité volumique encore plus délicat.

Les analyses sur les échantillons filtrés ne montrent pas de différence significative d'activité volumique. Pourtant les accumulations d'iode 131 tendraient à prouver que ce dernier est pour partie lié à la matière solide. En effet, la connaissance des dispositifs de rétention urinaire et de leur efficacité tend à prouver que seules les selles peuvent véhiculer la radioactivité. Cependant il semblerait que les selles soient complètement brassées par le flux des eaux au sein des canalisations. Cette hypothèse est confortée par l'observation de terrain, durant laquelle nous avons pu constater de grandes quantités de matières solides grasses. La charge en matières organiques de ces effluents étant très importante (graisses), il est donc possible que la radioactivité y soit concentrée de façon importante.

Cette matière grasseuse est par ailleurs très labile. Il est ainsi probable que la filtration effectuée en laboratoire n'a pas retenu les molécules iodées du fait d'une porosité trop élevée.

Dans le cas d'un cancer thyroïdien, l'administration thérapeutique est un sel d'iode (iodure de sodium). L'iode dans ce cas est très soluble sous sa forme anionique (I^-). Dans le cas d'une

administration thérapeutique pour un cancer du foie, l'iode 131 est lié à une molécule organique (ex.: ester éthylique d'acide gras) qui le rend pratiquement insoluble.

Cependant, et compte tenu du fait que la préoccupation principale de la CGE est l'iode 131, nous ne conserverons pas les données relatives au technétium 99 métastable. Les résultats présentés ne concerneront donc que l'iode 131.

6.2 RESULTATS OBTENUS AU NIVEAU DES SOURCES D'EFFLUENTS RADIOACTIFS

Les résultats obtenus par l'implantation de la sonde Téléhydro portable à la sortie des deux établissements pratiquant la médecine nucléaire et notamment des diagnostics ou thérapies susceptibles de mettre en œuvre de l'iode 131 et du technétium 99 métastable, sont présentés ci-dessous.

6.2.1 LE CHR DE RANGUEIL

La sonde Téléhydro portable a été implantée à la sortie du collecteur principal du CHR de Rangueil, du 25 février au 19 avril 2004. Le graphique représentant les mesures d'iode 131 est présenté ci-dessous.

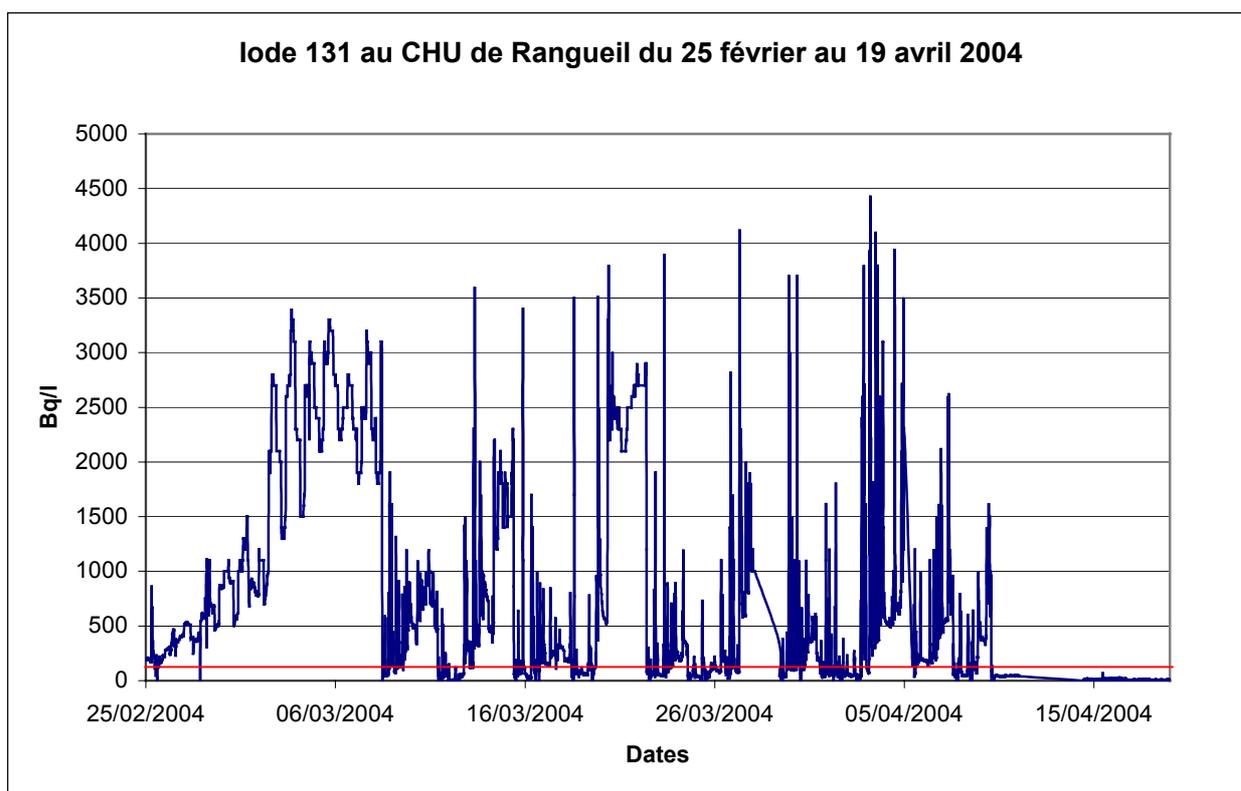


Figure 13 : Mesures de I¹³¹ par la sonde Téléhydro portable à la sortie du collecteur principal du CHR de Rangueil du 25 février au 19 avril 2004.

Ces données démontrent clairement que les enregistrements de la sonde Téléhydro portable font état de la présence d'iode 131 dans les effluents du CHR de Rangueil. La faible dilution en ce point

situé très en amont de l'ensemble du réseau d'assainissement permet de détecter d'importantes activités volumiques.

Sur la période retenue de 19 jours, la moyenne de l'activité volumique en iode 131 à la sortie de l'émissaire est de **340 Bq/l** avec des pics d'activité volumique pouvant aller jusqu'à 4400 Bq/l.

Cette moyenne (340 Bq/l) est supérieure à la valeur guide préconisée par la circulaire DGS/DHOS du 9 juillet 2001 (100 Bq/l).

Néanmoins, la présence du batardeau servant à rehausser le niveau de l'eau dans la canalisation de rejet, a induit plusieurs accumulations de matières, essentiellement fécales. En effet, le phénomène d'accumulation d'iode 131 dû à la présence de ce batardeau induit un biais statistique certain tendant à surestimer cette valeur moyenne.

Ce constat nous a également suggéré que l'iode radioactif présent dans les effluents du CHU proviendrait des selles des patients plutôt que des urines, hypothèse renforcée par la baisse du bruit de fond lors de la vidange du compartiment.

Cette hypothèse est d'autant plus pertinente que l'utilisation des toilettes séparatives conduit à ne rejeter que des selles dans le cas de pratiques mettant en jeu l'iode 131.

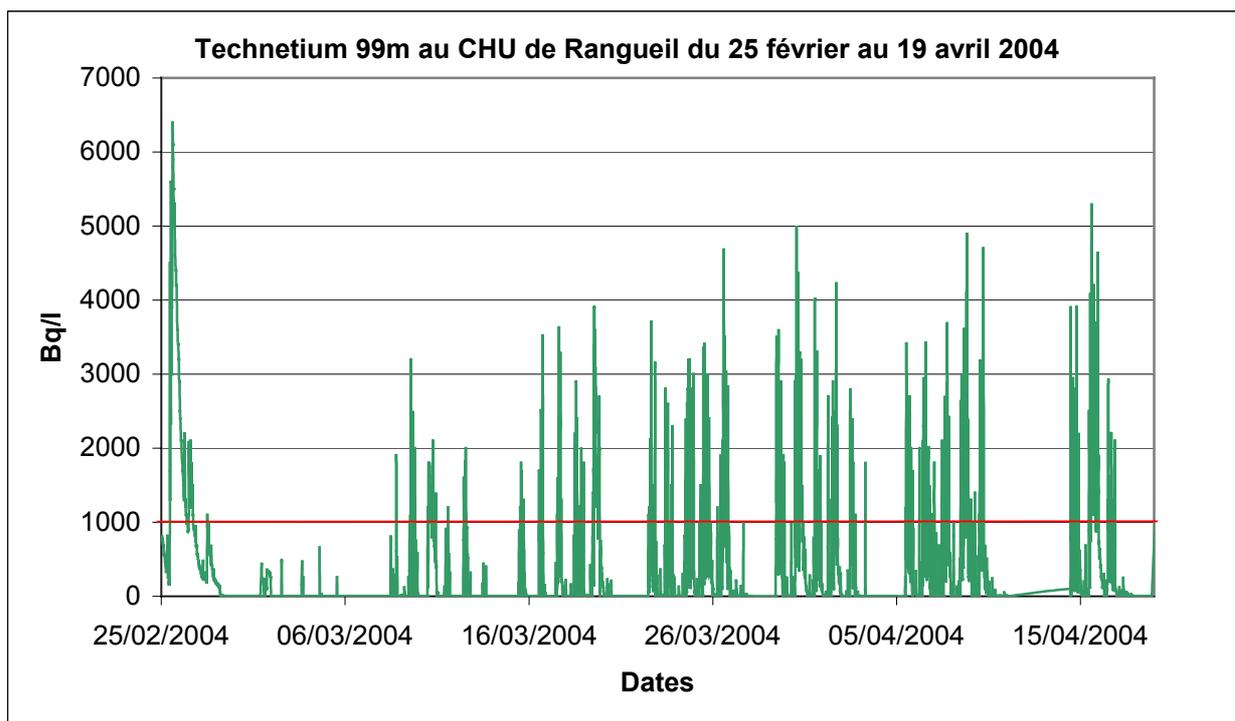


Figure 14 : Mesures de ^{99m}Tc par la sonde Téléhydro portable à la sortie du collecteur principal du CHR de Rangueil du 23 mars au 10 avril 2004.

Pour le technétium 99 métastable, la moyenne de la concentration volumique est d'environ **460 Bq/l** sur les 19 jours retenus. Cette valeur est inférieure à la limite autorisée par la circulaire qui est de 1000 Bq/l.

La valeur moyenne calculée (460 Bq/l) est donc inférieure à la valeur guide préconisée par la circulaire DGS/DHOS.

Cependant, tout l'intérêt de la mesure en continu est mis en exergue puisque l'on constate un grand nombre de valeurs supérieures à 1000 Bq.l⁻¹.

La courte période du technétium 99 métastable ne permet pas de confirmer ou non le rôle des selles dans le transport de la radioactivité. Aucun phénomène d'accumulation ne peut être mis en évidence du fait de sa demi-vie de 6 heures.

Il est donc difficile de conclure de façon certaine quant au vecteur préférentiel du technétium 99 métastable dans les eaux usées. Même si la littérature indique que son élimination est quasi totale en une semaine et essentiellement par voie urinaire, sa courte période ne permet pas de pousser les investigations plus loin avec les données en notre possession.

La rythmicité d'occurrence des pics de technétium 99 métastable est également très caractéristique, car déjà constatée sur les sondes Téléhydro fixes en entrée des stations de dépollution d'autres villes du réseau Téléhydro. Les mesures enregistrées coïncident très exactement avec les jours d'activité des services de médecine nucléaire.

Cependant, il est fréquent de constater des apparitions d'iode ou de technétium certains jours fériés durant lesquels aucune administration de radioactivité n'a lieu. Cela s'explique par le fait que la radioactivité est éliminée de façon différente selon le type de diagnostic effectué ou encore selon la quantité administrée.

6.2.2 LE CENTRE DE LUTTE CONTRE LE CANCER CLAUDIUS REGAUD

Concernant l'étude des rejets du Centre Claudius Regaud, l'implantation de la sonde n'a, pour des raisons pratiques, pu être mise en œuvre aussi facilement qu'à Rangueil comme expliqué précédemment. Il est donc important de souligner que les mesures effectuées sont plus diluées que celles présentées pour le CHR de Rangueil.

Les graphiques représentant les mesures de technétium 99 métastable et d'iode 131 effectuées à Estrapade sont présentés ci après.

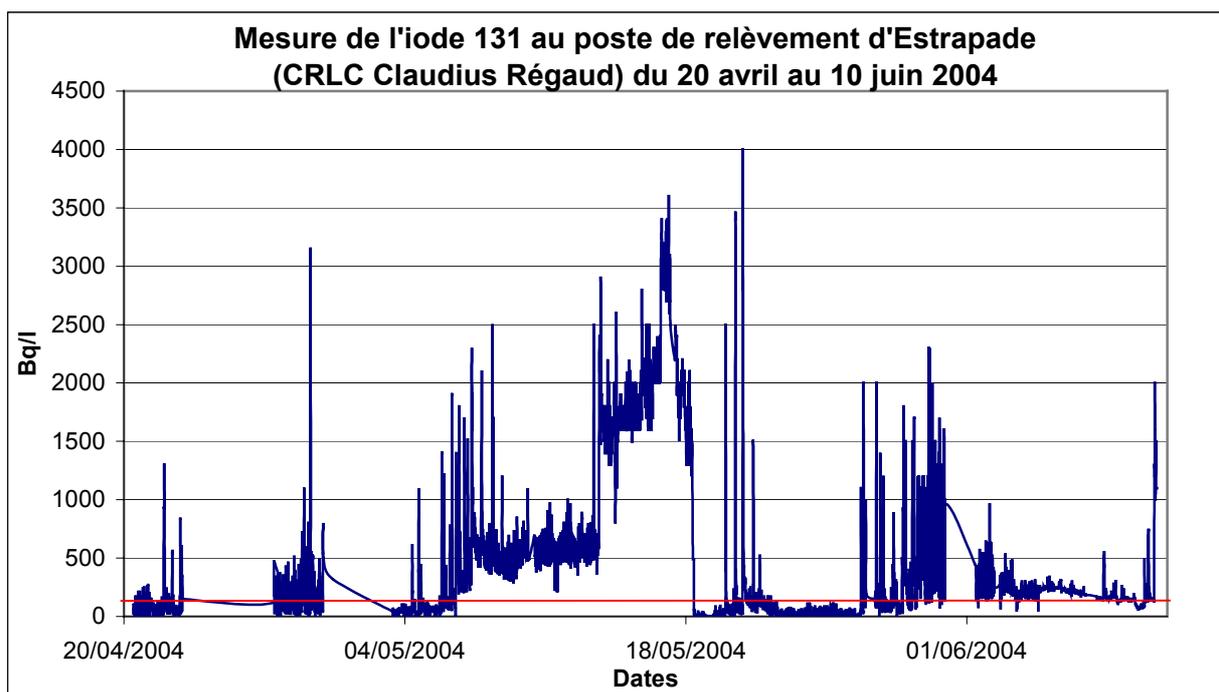


Figure 15 : Mesures d'¹³¹I réalisées par la sonde Téléhydro portable au poste de relèvement d'Estrapade (Centre Claudius Regaud) du 20 avril au 10 juin 2004.

Ce graphique met en évidence, de façon tout à fait similaire à ce qui a été constaté au CHR de Raugeil, la présence de radioactivité et plus particulièrement d'iode 131, à la sortie du Centre Claudius Regaud.

De façon similaire à Raugeil, nous avons pu constater, bien qu'aucune retenue d'eau artificielle n'ait été mise en place, un phénomène d'accumulation d'iode 131 qui se traduit par une augmentation du bruit de fond après deux semaines de mesures et pendant deux semaines. Afin de vérifier l'état de la sonde, le personnel de la CGE s'est rendu sur place et a constaté, en effet, d'importants dépôts sur la sonde.

Cette constatation faite, nous avons demandé au personnel de la CGE d'intervenir sur site afin de procéder au nettoyage de la sonde. La visite a révélé une importante accumulation de matières solides grasses autour de celle-ci, ce qui tend à nouveau à prouver que l'augmentation des mesures d'iode 131 serait bien liée à la présence de matières solides, dont les selles peuvent être la composante principale. Immédiatement après le nettoyage de la sonde, l'activité en iode 131 a fortement diminué, prouvant que l'accumulation d'iode 131 était bel et bien liée à cette matière solide.

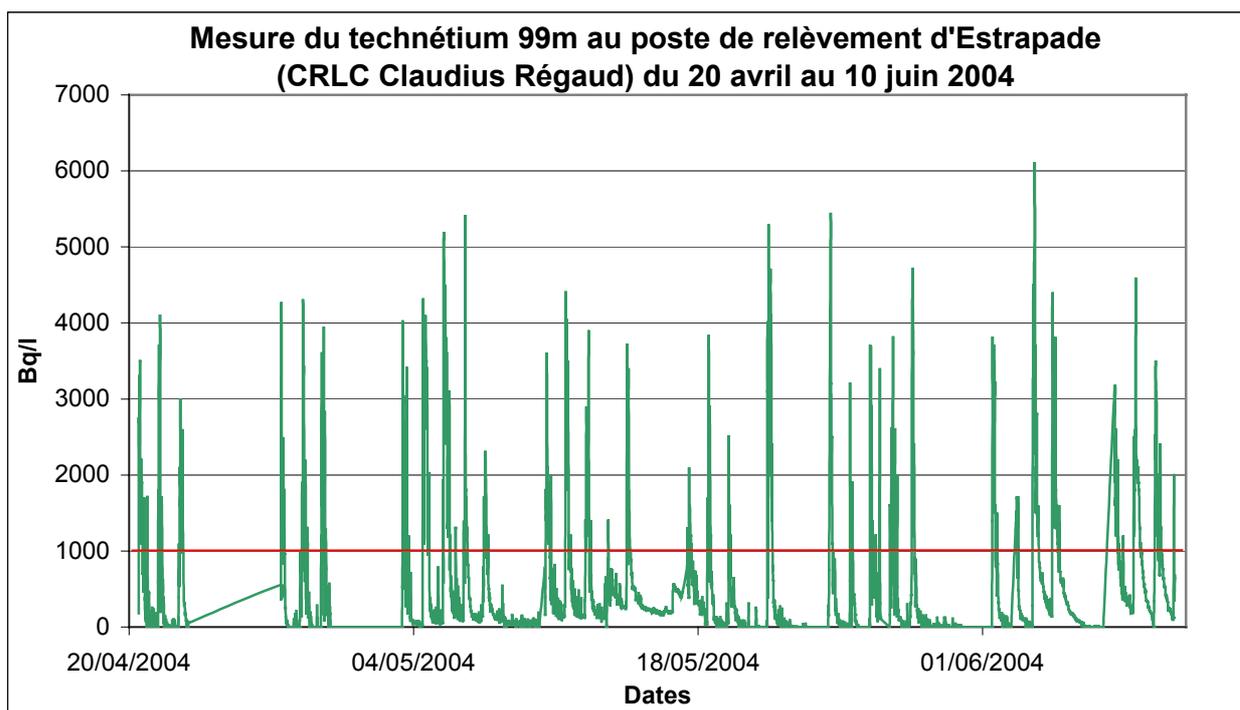


Figure 16 : Mesures de ^{99m}Tc réalisées par la sonde Téléhydro portable au poste de relèvement d'Estrapade (Centre Claudius Regaud) du 20 avril au 10 juin 2004.

Comme pour le CHR de Ranguel, les activités de diagnostic au technétium 99 métastable sont bien mises en évidence par les mesures réalisées en sortie du collecteur principal du Centre Claudius Regaud.

Les moyennes des concentrations volumiques pour chaque radio-isotope sont les suivantes :

- 150 Bq/l pour l'iode 131;
- 190 Bq/l pour le technétium 99 métastable.

Ces moyennes correspondent aux mesures effectuées à la place de l'Estrapade et non à la sortie directe de l'émissaire. Or, l'ICR ne représente qu'environ 8% du volume total transitant au poste de relevage d'Estrapade. C'est pourquoi il est important de recalculer les valeurs exactes en sortie afin de pouvoir déterminer si les rejets sont en accord ou non avec la réglementation.

Il est ainsi observé que la valeur moyenne calculée pour l'iode 131 est légèrement supérieure à la valeur préconisée dans la circulaire, l'activité volumique moyenne du technétium 99 métastable étant quant à elle inférieure à la valeur guide.

6.2.3 CONCLUSION :

Bien que les hôpitaux étudiés soient en conformité avec les dispositions techniques préconisées par la circulaire DGS du 9 juillet 2001, **l'étude révèle que les valeurs guides, retenues à l'émissaire principal de ces établissements, ne sont pas respectées dans le cas de l'iode 131.**

Les hypothèses sont diverses compte tenu de la réglementation et des préconisations de la circulaire DGS, ainsi que des observations de terrain :

- a) La mauvaise gestion des effluents par les services de médecine nucléaire, avec notamment une mauvaise séparation des urines et des selles entraînant de fait la présence d'iode 131 dans le réseau d'assainissement.
- b) L'absence de conduit reliant les douches des chambres d'hospitalisation, pouvant en cas d'incontinence d'un patient entraîner une apparition d'iode 131 dans les eaux usées.
- c) L'éventualité qu'un patient se dirige vers des sanitaires communs à l'ensemble de l'établissement après sa sortie du service de médecine nucléaire.
- d) La possibilité qu'un patient retourne dans son service d'hospitalisation d'origine hors service de médecine nucléaire.
- e) Compte tenu des quantités importantes administrées aux patients, la proportion de radioactivité véhiculée par les selles, bien que faible par rapport au vecteur urinaire, entraîne d'importantes activités volumiques dans le réseau d'assainissement.

Suite à la visite de quelques services de médecine nucléaire, des cinq hypothèses évoquées, une seule semble constituer une explication sur l'origine de la part prépondérante d'iode 131 observé dans les effluents :

- a) L'hypothèse d'une mauvaise utilisation des toilettes séparatives (par un homme en position debout essentiellement) reste possible, cependant le nombre d'apparitions de pics d'iode 131 dans les effluents ne semble pas pouvoir raisonnablement s'expliquer ainsi. De plus, les valeurs mesurées ne sont pas de l'ordre de grandeur du rejet urinaire d'un patient ayant subi une radiothérapie à l'iode 131.
- b) L'hypothèse du transit de radioactivité par les douches des chambres d'hospitalisation à l'iode 131 bien que possible en théorie, de manière similaire, ne peut être fréquente au point d'entraîner autant d'apparitions d'iode 131 à l'émissaire (utilisation des douches essentiellement le matin et le soir).
- c) Un patient qui doit sortir d'une hospitalisation, utilise, selon les consignes, les sanitaires dédiés et non pas les sanitaires communs avant son départ, puis

généralement, rentre directement à son domicile. De fait, cette hypothèse est improbable puisque contraire aux instructions du personnel hospitalier. Quand bien même, le caractère exceptionnel et épisodique de tels évènements serait incompatible avec les rejets observés.

- d) Aucun patient hospitalisé en chambre protégée n'a été transféré dans un autre service de médecine conventionnelle durant notre étude, ce qui élimine également la quatrième hypothèse, d'autant plus qu'aucun diagnostic à l'iode 131 n'est plus effectué à l'heure actuelle.
- e) Compte tenu des quantités administrées aux patients et du pourcentage éliminé par les selles (environ 15%), ces dernières peuvent, selon le type de thérapie, varier d'une quinzaine à plusieurs centaines de MBq. Les selles étant dirigées directement vers le réseau d'assainissement, cette hypothèse est donc la plus sérieuse à prendre en compte pour la détermination de l'origine de l'iode 131 dans les eaux usées.

Seul le vecteur urinaire a été retenu pour le stockage des effluents contenant de l'iode 131, mais les selles, qu'il n'a pas été jugé bon de stocker en raison de leur potentiel d'induction de maladies nosocomiales, fixent une part non négligeable de ce radioélément.

De plus, l'ensemble de ces résultats montre la nécessité d'effectuer un suivi continu des effluents des services de médecine nucléaire. En effet, le caractère transitoire de ces rejets ne peut être évalué lors d'un prélèvement de 8 heures ou par le calcul d'une valeur moyenne, tel que préconise la circulaire DGS/DHOS. Seules les mesures continues permettent de détailler plus précisément les valeurs maximales et minimales observées.

En tout état de cause, les effluents rejetés par le CHR de Ranguel et l'Institut Claudius Regaud pendant la période de l'étude montrent des dépassements de la valeur guide moyenne pour l'iode 131.

Tableau 3 : Valeurs moyennes et maximales (en Bq/l) enregistrées aux émissaires des CHR Ranguel et Institut Claudius Regaud

	Iode 131 (valeur guide = 100 Bq/l)		Technétium 99 métastable (valeur guide = 1000 Bq/l)	
	Valeur moy.	Valeur max.	Valeur moy.	Valeur max.
CHR Ranguel	340	4500	460	6000
Institut Claudius Regaud	150	4000	190	6000

Ce tableau démontre l'inadaptation de prélèvements ponctuels ou du calcul d'une moyenne qui ne peut refléter la variabilité des rejets. Plus concrètement, le calcul des valeurs moyennes enregistrées aux émissaires des deux établissements de santé étudiés ne montre pas de dépassement dans le cas du technétium 99 métastable. Les valeurs moyennes calculées pour l'iode 131 sont à peine supérieures à la valeur guide de 100 Bq/l et sont de plus sur-évaluées compte tenu des phénomènes d'accumulation, que ne reflèteraient pas des mesures réalisées sur des prélèvements.

Seule la mesure en continu sur ce type d'effluents permet donc d'appréhender la réalité des valeurs et le caractère transitoire des apparitions de radioactivité.

6.3 VERIFICATION DE L'EFFICACITE DU STOCKAGE EN CUVE DE DECROISSANCE DES DEUX ETABLISSEMENTS ETUDIES

Lors d'une réunion préliminaire à l'étude, les responsables de la CGE ont orienté les recherches sur la vérification des dispositifs de décroissance ainsi que la vérification du respect des valeurs guides.

C'est la raison pour laquelle nous avons demandé aux établissements de Ranguel et Claudius Regaud les registres de vidanges de l'ensemble des cuves de stockage des effluents liquides.

Durant la période de mesure à la sortie de l'établissement de Ranguel, seules deux vidanges ont été effectuées, l'une concernant une cuve d'iode 131, le 8 mars 2004 et l'autre de technétium 99 métastable, le 30 mars 2004. Les enregistrements présentés précédemment ne montrent pas d'impact particulier eu égard aux rejets observés en routine avant ou après ces vidanges.

Aucune vidange de cuve n'a été effectuée durant la période d'étude par le Centre Claudius Regaud.

Signalons enfin que chaque vidange fait l'objet d'un prélèvement analysé au laboratoire de la société ALGADE permettant d'estimer, au moment de l'arrêt de son remplissage, le nombre de jours de stockage nécessaire à la décroissance radioactive exigée par la réglementation (<7 Bq/l).

En pratique, au vu des données que les deux établissements ont pu nous confier, tous les prélèvements de contrôle effectués juste avant la vidange ont démontré que les activités volumiques au moment de la vidange devaient être inférieures à 1 Bq/l.

Il est donc tout à fait clair que les cuves utilisées en stockage puis décroissance remplissent efficacement leur rôle vis-à-vis des effluents en provenance des laboratoires et salles de préparation ainsi que des chambres d'hospitalisation destinées à l'accueil des patients traités à l'iode 131.

C'est la raison pour laquelle il est certain que l'iode 131 ne pourrait provenir que d'éventuelles activités de diagnostic à l'iode 131 (activité quasi-inexistante mais réalisée à l'ICR) ou des selles séparées dans les toilettes prévues à cet effet dans les chambres d'hospitalisation.

6.4 FLUX DE RADIOACTIVITE ET POUVOIR DE DILUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT

Pour des raisons de précision sur les mesures acquises au cours de l'étude et pour se limiter au radioisotope posant problème à la CGE, nous ne traiterons que le cas de l'iode 131.

Afin de préciser les hypothèses formulées aux paragraphes précédents, il nous était nécessaire de réaliser un bilan des transferts de radioactivité depuis les injections aux patients jusqu'à la station de dépollution, en tenant compte au maximum des phénomènes intermédiaires.

Nous avons choisi, pour chaque établissement, de ne retenir que les périodes de mesure les plus significatives. Le but étant d'avoir des séries de données peu influencées par les phénomènes d'accumulation de l'iode 131 rencontrés ou par des lacunes de mesures dues aux problèmes de rapatriement de ces dernières.

La période retenue pour l'hôpital de Rangueil est de 19 jours (du 23/03/2004 au 10/04/2004) et de 11 jours (du 19/05/2004 au 29/05/2004) pour l'institut Claudius Regaud. L'ensemble des calculs relatifs à ce travail sera détaillé en annexes 7 et 8.

6.4.1 LE CHR DE RANGUEIL

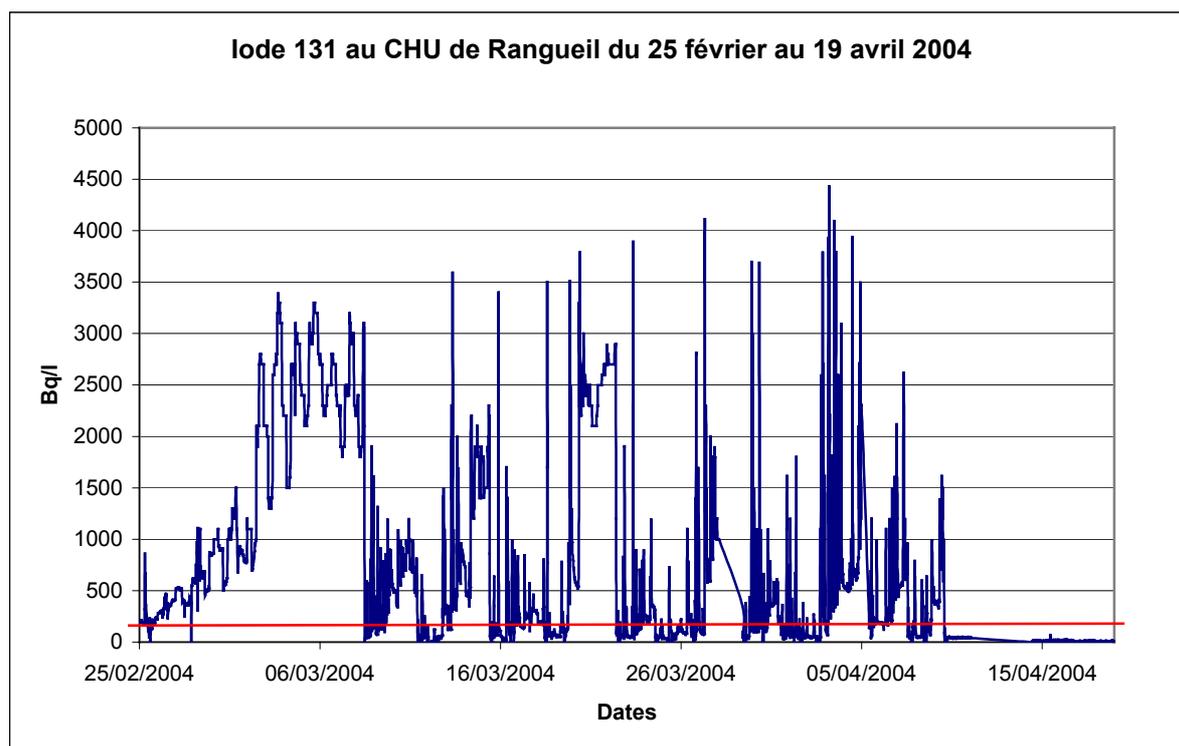


Figure 17 : Mesures de I^{131} par la sonde Téléhydro portable à la sortie du collecteur principal du CHR de Rangueil du 23 mars au 10 avril 2004.

D'après les registres d'administration d'iode 131 obtenus auprès de l'hôpital de Rangueil, nous avons pu calculer la somme des activités ingérées par les patients pour des petites thérapies ainsi que pour des thérapies thyroïdiennes et hépatiques.

Le cumul sur les 19 jours considérés nous a permis d'appliquer la modélisation, décrite précédemment, pour le calcul de l'élimination totale par les voies naturelles.

Tableau 4 : Résultats de la modélisation de l'élimination de l'iode 131 par les patients en fonction du type de thérapie au CHR de Rangueil sur une période de 19 jours

Type de thérapie	Somme des activités administrées (MBq)	Estimation de l'élimination totale (MBq)	Calcul de l'élimination par les selles (MBq) - 15 % environ
Petite thérapie (<740 MBq)	7700	780 à 3800	120 à 570
Grosse thérapie (2200 MBq)	16000	1600	250
Grosse thérapie (3700 MBq)	53000	32000	4800
Sommes	76700	34380 à 37400	5170 à 5620

Puis, le cumul des spectres acquis par la sonde a permis le calcul des activités volumiques quotidiennes sortant de l'hôpital. Ces valeurs ont ensuite été multipliées par les estimations des volumes consommés par l'établissement.

Cela nous a donné une estimation de la totalité des activités sortant de l'hôpital pendant la période étudiée.

La valeur mesurée, puis re-calculée est de **4600 MBq** du 23 mars au 10 avril 2004.

Ce résultat nous montre clairement que l'ordre de grandeur (environ 5000 MBq) des mesures effectuées au collecteur des eaux usées de l'hôpital de Rangueil, est le même que celui de l'estimation de l'activité véhiculée par les selles de patients hospitalisés dans le service de médecine nucléaire pour la même période.

Ce résultat est intéressant à double titre, puisqu'il confirme l'hypothèse selon laquelle l'iode 131 présent dans le réseau d'assainissement proviendrait des selles des patients. De plus, l'efficacité des cuves de rétention des urines est à nouveau démontrée, puisqu'elles assurent la rétention de 60 % de l'iode administré aux patients pour une thérapie thyroïdienne (Tableau 4).

6.4.2 L'INSTITUT CLAUDIUS REGAUD

Nous avons également retenu une période de mesure restreinte pour l'institut Claudius Regaud, au cours de laquelle nous avons obtenu les registres d'administration d'iode 131 auprès de l'institut Claudius Regaud.

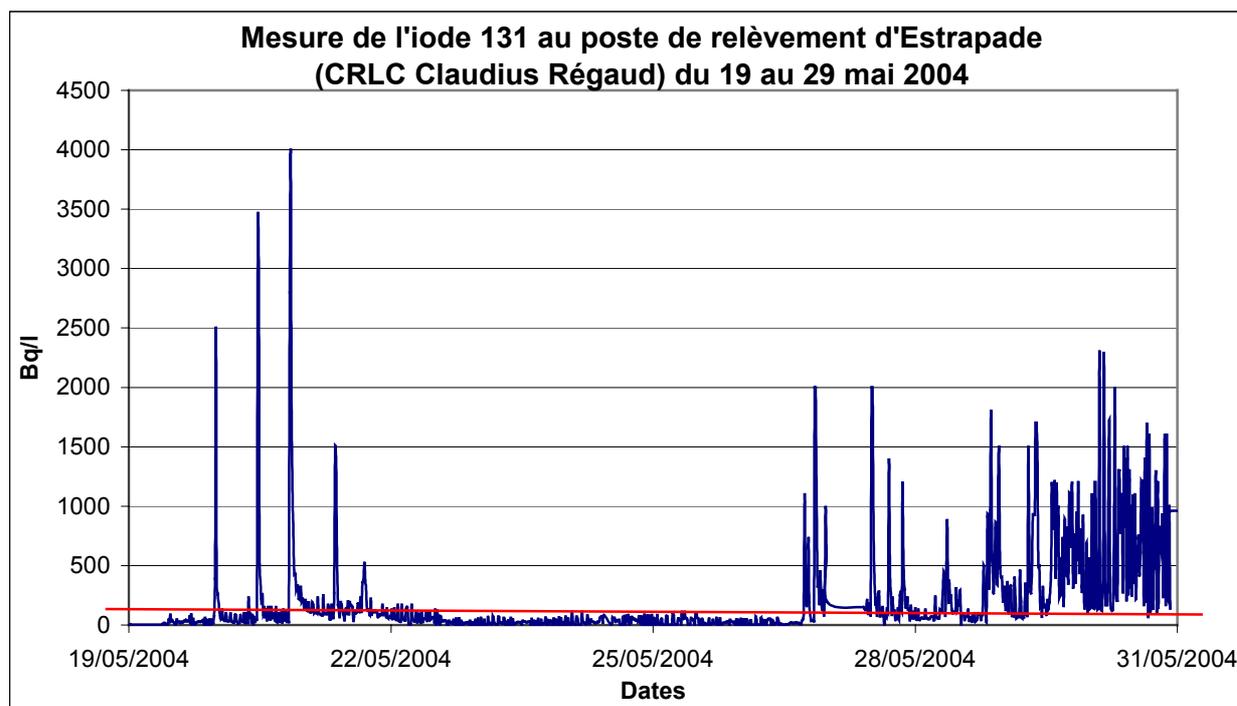


Figure 18 : Mesures de I^{131} par la sonde Téléhydro portable au poste de relèvement d'Estrapade du 19 au 29 mai 2004.

D'après ces registres nous avons pu calculer la somme des activités ingérées par les patients pour des petites thérapies ainsi que pour des thérapies thyroïdiennes et hépatiques.

Le cumul sur les 11 jours considérés nous a permis d'appliquer la modélisation, décrite précédemment, pour le calcul de l'élimination totale par les voies naturelles.

Tableau 5 : Résultats de la modélisation de l'élimination de l'iode 131 par les patients en fonction du type de thérapie au l'ICR sur une période de 11 jours

Type de thérapie	Somme des activités administrées (MBq)	Estimation de l'élimination totale (MBq)	Calcul de l'élimination par les selles (MBq) - 15 % environ
Petite thérapie (< 740 MBq)	1830	180 à 900	20 à 135
Grosse thérapie (2200 MBq)	1800	160	20
Grosse thérapie (3700 MBq)	26000	16000	2400
Sommes	29630	16340 à 17060	2440 à 2555

Puis, le cumul des spectres acquis par la sonde a permis un calcul précis des activités volumiques quotidiennes sortant de l'hôpital. Ces valeurs ont ensuite été multipliées par les estimations des volumes consommés par l'établissement.

Cela nous a donné une estimation de la totalité des activités sortant de l'hôpital durant cette période.

Ainsi, la valeur mesurée par la sonde puis re-calculée est de **1500 MBq** du 19 mai au 29 mai 2004.

La même conclusion que dans le cas de l'hôpital de Ranguel peut-être tirée, car l'ordre de grandeur du cumul des valeurs acquises par la sonde portable est le même que l'activité théorique éliminée par les selles des patients.

6.4.3 CONCLUSION

Les deux cas étudiés montrent que l'ordre de grandeur des activités rejetées par voie urinaire et par les selles sont totalement différents. Ces deux résultats démontrent de façon non équivoque que l'ordre de grandeur des mesures effectuées aux émissaires de rejet des deux établissements étudiés est le même que celui qui correspond à la part de radioactivité fixée dans les selles.

6.4.4 BILAN DES FLUX D'IODE 131 ET DE TECHNETIUM 99 METASTABLE DANS LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT

6.4.4.1 Flux d'iode 131

Nous pouvons représenter de façon schématique le parcours de l'iode 131 dans le réseau d'assainissement :

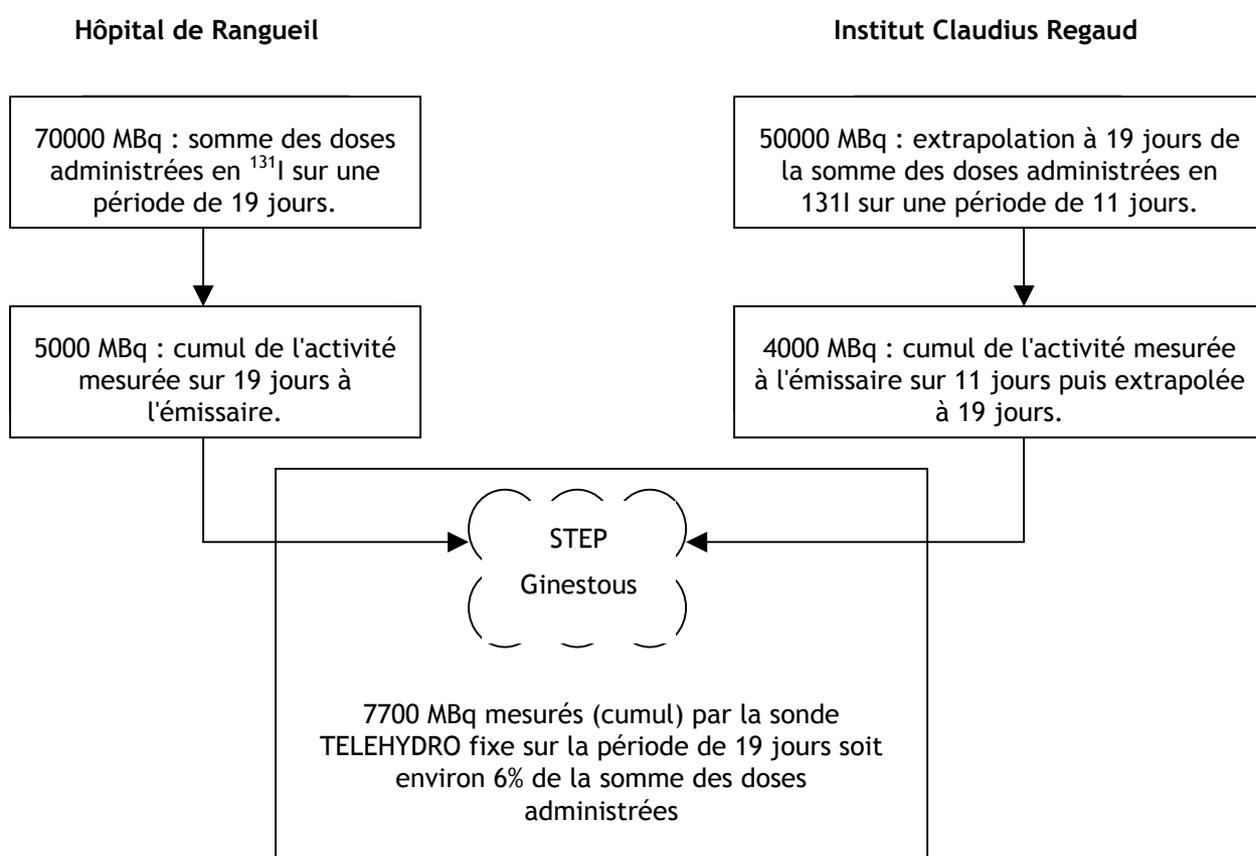


Figure 19 : Diagramme représentant l'origine et le transfert de l'iode 131 au réseau d'assainissement

Pour calculer ce bilan il a été nécessaire de considérer que les périodes étudiées pour chacun des deux établissements sont représentatives de leur activité moyenne. Ainsi nous avons pondéré les données d'administration obtenues auprès de l'institut Claudius Regaud sur la période de référence de l'hôpital de Rangueil (19 jours).

Les résultats obtenus montrent qu'une très grande partie de la radioactivité reste dans les cuves de décroissance des hôpitaux (> à 90%). Toutefois une fraction non négligeable est entraînée dans le réseau d'assainissement et se retrouve au sein de l'usine de dépollution de Ginestous.

Les données obtenues, mesurées ou calculées sont crédibles même à l'échelle des périodes d'études (environ 20 jours). Les activités administrées annuellement en iode 131 déclarées par le CHR de Ranguel et l'Institut Claudius Regaud sont respectivement de 700 et 560 GBq. Si l'on extrapole à 365 jours les valeurs fournies dans les registres d'administration aux patients de l'iode 131, on obtient un total de 1200 GBq. Cela tend à prouver que la période d'étude retenue est représentative de l'activité annuelle de ces deux établissements.

6.4.4.2 Flux de technétium 99 métastable

De même que pour l'iode 131, il est possible de schématiser les activités globales du technétium 99 métastable de la façon suivante :

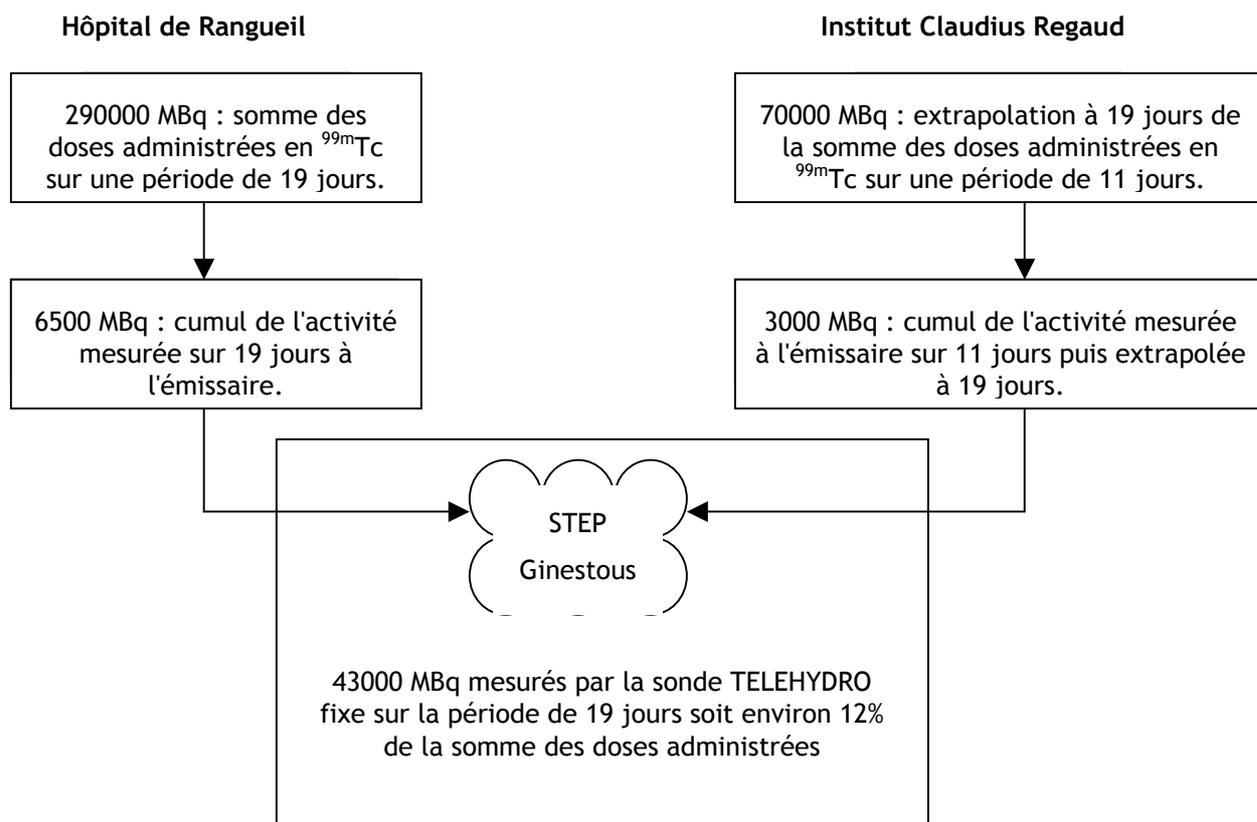


Figure 20 : Diagramme représentant l'origine et le transfert du technétium 99 métastable au réseau d'assainissement

De même que pour le calcul de l'iode 131, il a été nécessaire de considérer que les périodes étudiées pour chacun des deux établissements étaient représentatives de leur activité moyenne.

Ainsi nous avons pondéré les données d'administration obtenues auprès de l'institut Claudius Regaud sur la période de référence de l'hôpital de Rangueil (19 jours).

L'activité mesurée au poste sud est bien supérieure à ce qui est mesuré ou obtenu par extrapolation à la sortie des deux établissements. L'essentiel du technétium 99 métastable mis en jeu lors des activités de diagnostic ne serait pas rejeté par les patients à l'émissaire de l'hôpital. Il est probable que les cuves de stockage retiennent une partie de cette élimination. Cependant, il semblerait, qu'à la lumière de ces résultats, l'impact des patients ambulatoires soit démontré.

En effet, après avoir réalisé les clichés, ces derniers peuvent retourner à leur domicile ou bien dans leur chambre d'hospitalisation d'origine où aucun dispositif n'est prévu pour récolter les urines et selles contaminées. Bien que ces patients aient uriné juste avant la prise du cliché et ainsi éliminé une part importante de la radioactivité, la proportion résiduelle reste très importante.

De plus un second facteur intervient dans ce bilan des flux, il s'agit de la décroissance physique qui, dans le cas du technétium 99 métastable, est de 6 heures. L'élimination biologique peut prendre un certain temps et le parcours des effluents au sein du réseau d'assainissement peut prendre plusieurs heures (entre 1h50 pour l'ICR et 3h00 pour Rangueil). L'ensemble de ces facteurs permet donc une décroissance importante avant l'arrivée en station de dépollution, qui limite l'impact radiologique du technétium 99 métastable dans les boues issues du traitement de l'eau.

6.5 EVALUATION DU POUVOIR DE DILUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT TOULOUSAIN

L'évaluation du pouvoir de dilution a été effectuée en utilisant la moyenne des flux de radioactivité pour chaque établissement et pour l'usine de dépollution de Ginestous calculée à partir des journées sélectionnées précédemment.

Afin de calculer la dilution réalisée par le réseau, il est nécessaire de définir la proportion de la radioactivité de chaque établissement dans le flux arrivant au poste sud.

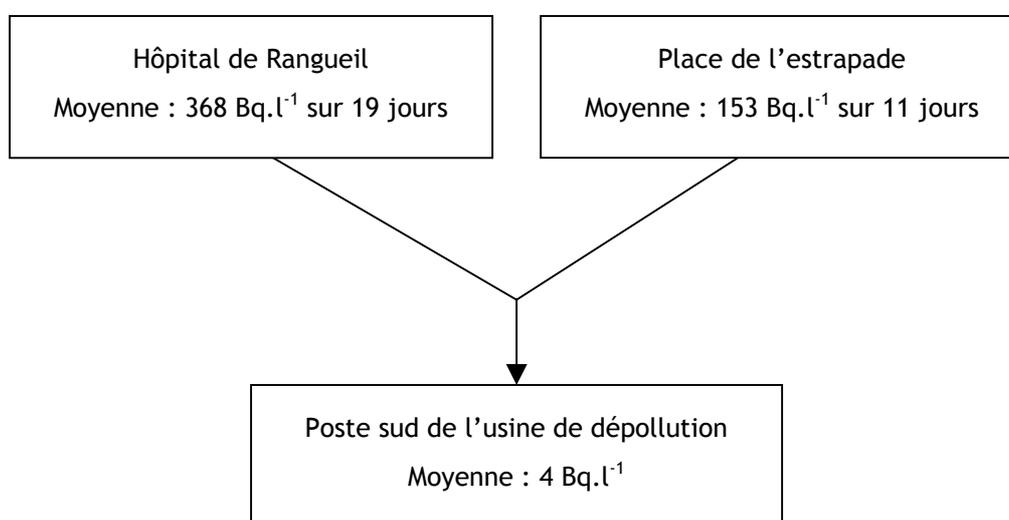


Figure 21 : Comparaison des moyennes des activités volumiques mesurées pour l'iode 131.

Les dilutions sont donc de l'ordre de 130 pour chacune des deux parties du réseau jusqu'à l'entrée de la station de dépollution de Ginestous.

La dilution réalisée par le réseau d'assainissement permet d'obtenir des concentrations en radioisotopes faibles à l'arrivée dans la station de dépollution mais n'est pas en accord avec le débit de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ imposé par la réglementation (cf. 3.2.4 du présent rapport).

Toutefois la part respective de chacun des établissements étudiés reste difficile à déterminer de façon précise, les valeurs étant très proches.

6.6 ETUDE DE L'ETAT RADIOLOGIQUE DES EAUX USEES ARRIVANT PAR LE POSTE NORD DE GINESTOUS.

La sonde portable a également été implantée au poste nord, deuxième point d'entrée des eaux usées dans l'usine de dépollution de Ginestous, à la demande de la CGE. Le but était de s'assurer qu'aucune activité d'un service de médecine nucléaire autre que les deux établissements surveillés n'est susceptible d'impacter le réseau d'assainissement de l'agglomération de Toulouse. Deux cliniques sont reliées au réseau d'assainissement : la clinique des Cèdres et la clinique Pasteur. Toutes deux réalisent des diagnostics, notamment au technétium 99 métastable, mais aucune thérapie n'y est effectuée, un rejet d'iode 131 n'est donc pas envisageable.

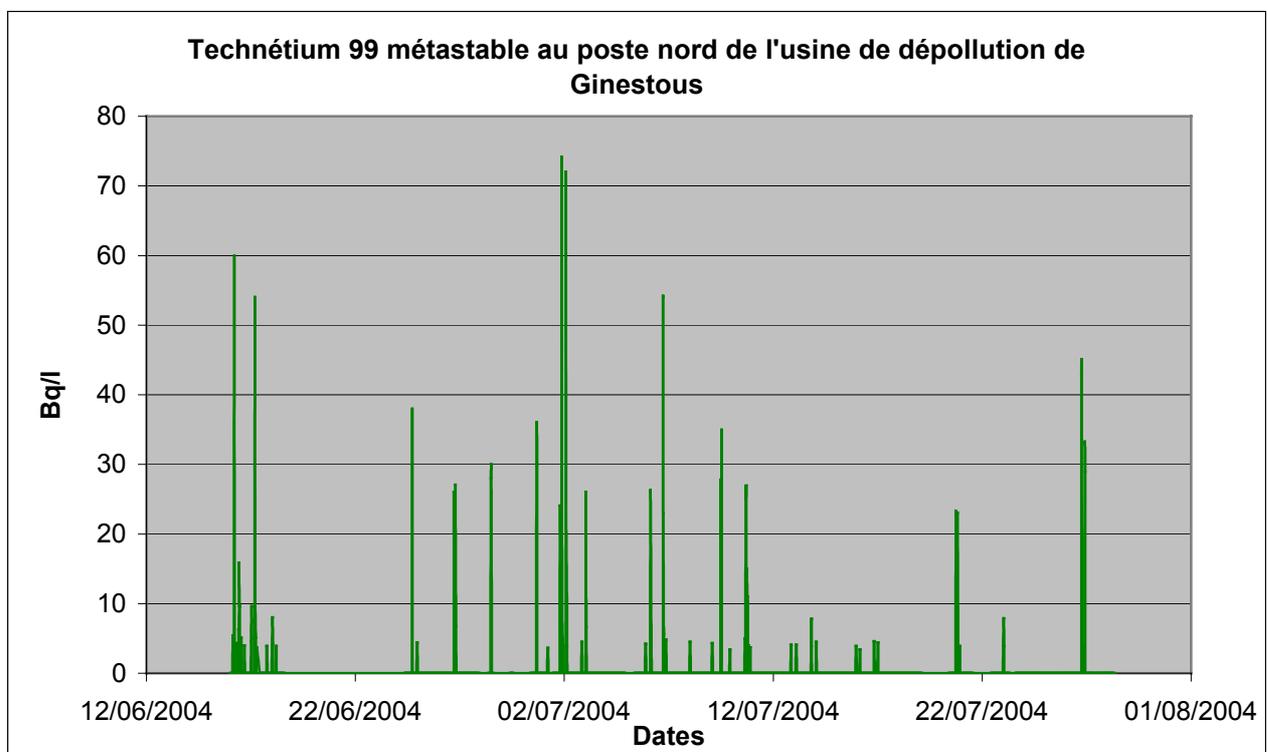


Figure 22 : Mesures de technétium 99 métastable au poste nord de l'usine de dépollution de Ginestous du 12 juin 2004 au 30 août 2004.

Les données recueillies présentées sur les graphiques montrent tout d'abord la quasi absence de technétium 99 métastable. En tout état de cause, l'absence d'une rythmicité des apparitions de technétium 99 métastable montre qu'en dépit d'activités diagnostiques pourtant importantes, l'efficacité des fosses tampons mises en place à la sortie des deux cliniques est prouvée.

La valeur maximale enregistrée est de 74 Bq/l avec une moyenne d'1 Bq/l seulement. Même si le point de mesure est situé bien en aval des points de rejet potentiels, ces valeurs sont faibles.

On peut d'ailleurs également penser que ces données résultent en quasi totalité du caractère ambulatoire des patients ayant subi un diagnostic et ne représentent sans doute pas les urines habituellement rejetées juste avant les examens. Cela résulterait donc également de la bonne capacité de rétention des fosses tampons mises en place.

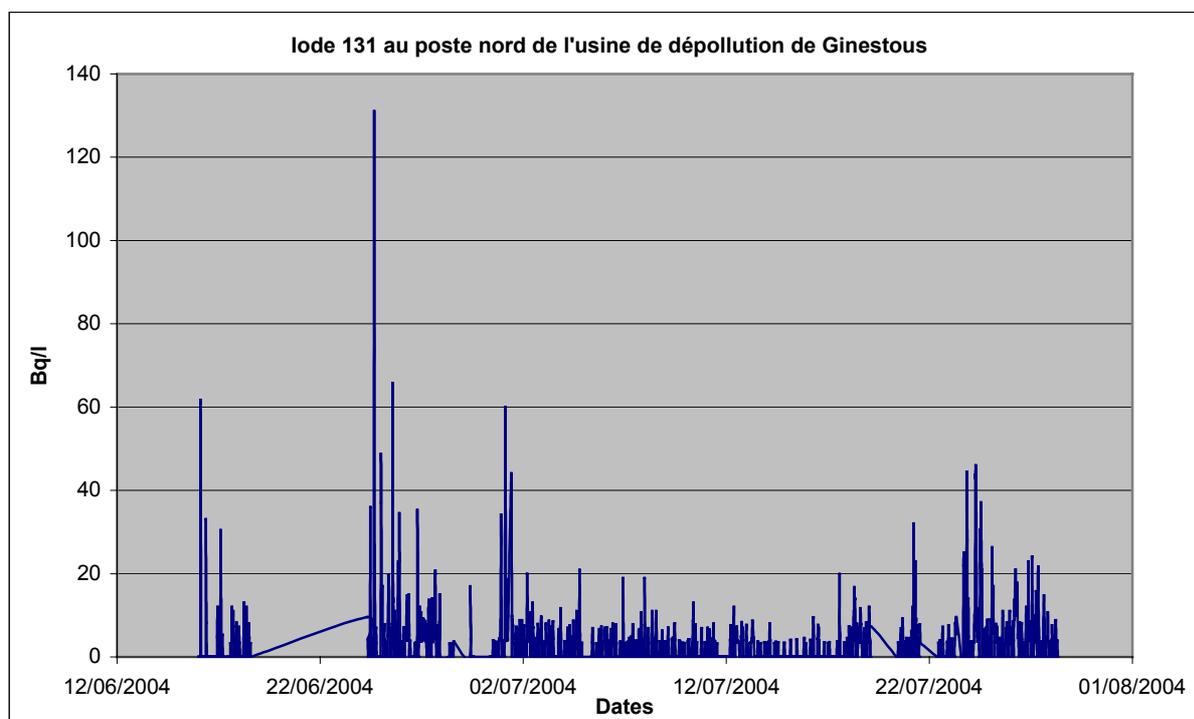


Figure 23 : Mesures d'iode 131 au poste nord de l'usine de dépollution de Ginestous du 12 juin 2004 au 30 août 2004.

La valeur maximale enregistrée est de 130 Bq/l et la valeur moyenne calculée de 3 Bq/l.

Les mesures d'iode 131, bien que surprenantes au premier abord compte tenu du fait que l'iode 131 n'est pas utilisé dans les deux cliniques précitées, peuvent toutefois s'expliquer.

Ces apparitions transitoires d'iode 131 mettent également en exergue le caractère ambulatoire des patients qui, une fois retournés à leur domicile peuvent rejeter une part de radioactivité résiduelle.

Nous avons vu précédemment qu'après l'ingestion d'une gélule d'iode 131, même si la quasi totalité de ce radioisotope est éliminée, la fraction restante, aussi faible soit-elle, peut être de l'ordre de grandeur du MBq. Après dilution, il est donc théoriquement possible d'obtenir des activités volumiques de l'ordre d'une centaine de Bq/l.

Cette hypothèse mériterait cependant d'être confirmée par des mesures plus fines sur tout un bassin versant du réseau d'assainissement.

6.7 EVALUATION DE L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE DUE A LA RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE D'ORIGINE MEDICALE

En complément de l'étude portant sur la provenance des radionucléides présents dans le réseau d'assainissement de la ville de Toulouse, la CGE a demandé une évaluation de l'exposition environnementale de l'ensemble de l'usine de dépollution de Ginestous afin de répondre aux questionnements du personnel travaillant sur site.

La fiabilité des mesures obtenues avec les dosimètres thermoluminescents augmente avec le temps d'exposition de ces derniers. Les DTL disposés dans la station de dépollution de Toulouse sont donc restés en place pendant six mois, du 23 janvier au 28 juillet 2004. Après cette période, ils ont été rapatriés pour analyse en laboratoire afin de déterminer la valeur de la dose de rayonnement gamma absorbée par chacun d'entre eux.

Une fois les mesures des DTL obtenues et exprimés en milligray, on calcule un débit de dose horaire en utilisant le nombre d'heures d'exposition de chaque DTL. La valeur obtenue est exprimée en $\mu\text{Gy/h}$.

Un DTL témoin a été placé dans les locaux administratifs de l'usine de dépollution de Ginestous. Le débit de dose mesuré à partir du dosimètre témoin représente le débit de dose ambiant naturel du site de Ginestous. Des valeurs obtenues, cette valeur de référence est donc systématiquement soustraite pour ne calculer que de la contribution de la radioactivité d'origine artificielle.

Tableau 6 : Résultats de l'étude de l'exposition environnementale aux rayonnements gamma à l'aide des dosimètres thermoluminescents

DOSIMETRES INTEGRATEURS DE L'IRSN

N°	Emplacement	Date de pose	Date de dépose	Nbre de jours	Dose mesurée (mGy)	Débit de dose ($\mu\text{Gy/h}$)	Débit de dose d'origine artificielle ($\mu\text{Gy/h}$)	Débit de dose éq. (mSv/an)	Estimation du débit de dose d'origine artificielle pour un travailleur posté 2000 heures/an (mSv/an)
1	Témoin (radioactivité naturelle)	23/01/2004	28/07/2004	187	0,23	0,05	0,00	0,45	0,00
2	Réseau eaux usées	29/01/2004	27/07/2004	180	0,45	0,10	0,05	0,91	0,11
3	Dégrilleur poste SUD	23/01/2004	28/07/2004	187	0,36	0,08	0,03	0,70	0,06
4	Aération	23/01/2004	28/07/2004	187	0,30	0,07	0,02	0,59	0,03
5	Flotateur poste Sud	23/01/2004	28/07/2004	187	0,39	0,09	0,04	0,76	0,07
6	Silos granulés	23/01/2004	28/07/2004	187	0,35	0,08	0,03	0,68	0,05
7	Compostière	23/01/2004	28/07/2004	187	0,25	0,06	0,00	0,49	0,01
8	Trémies résidus	23/01/2004	28/07/2004	187	0,34	0,08	0,02	0,66	0,05
9	Silos résidus	23/01/2004	28/07/2004	187	1,01	0,23	0,17	1,97	0,35
10	Poste de commande usine	23/01/2004	28/07/2004	187	0,29	0,06	0,01	0,57	0,03

L'avant dernière colonne correspond aux valeurs de débit de dose équivalente pour l'homme exprimées en sievert (Sv). Ces valeurs obtenues par calcul permettent d'estimer les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme. Dans le cas du rayonnement gamma (cf. § 2.3.), on considère que la dose absorbée (grandeur mesurée par les DTL et exprimée en gray) est égale à la dose équivalente (grandeur calculée et exprimée en sievert).

Deux valeurs sont significativement plus élevées que le rayonnement naturel du site. La différence est vraisemblablement d'origine artificielle.

Ces valeurs sont celles obtenues à partir des dosimètres n°2 et n°9. Les autres résultats peuvent être assimilés à celui du DTL témoin : variation entre 0,05 et 0,09 µGy/h (valeurs inférieures à la moyenne nationale).

D'après le décret 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, "la somme des doses efficaces reçues par toute personne [...] du fait des activités nucléaires, ne doit pas dépasser 1 mSv par an".

Pour interpréter correctement ces débits de dose d'origine artificielle, il convient de tenir compte des durées d'exposition du personnel en ces lieux. Afin de calculer un débit de dose annuel par travailleur, on suppose que celui-ci passe environ 2000 heures au même endroit.

Les résultats montrent que le débit de dose efficace d'origine artificielle pouvant être reçu par du personnel est entre 10 et 100 fois inférieur à la limite réglementaire.

Cependant, le réseau d'assainissement et le silo de résidus montrent des valeurs sensiblement plus élevées. Les valeurs obtenues restent toutefois entre 3 et 10 fois inférieures à la limite réglementaire. De plus, ces débits de dose supposent que le travailleur reste pendant toute l'année à ce poste, ce qui est une hypothèse très pénalisante pour ces deux lieux dans la mesure où ils constituent des lieux de transit ou de travaux très ponctuels (moins de 500 heures par an). C'est pourquoi ces valeurs peuvent sans nul doute être divisées par 4 pour obtenir une estimation moins éloignée de la réalité.

Pour être complet sur cette estimation de l'exposition des personnes travaillant sur ce site, il conviendrait également de s'assurer de l'absence d'iode 131 dans l'air des locaux fermés où transitent des eaux usées. En effet, une évaluation de la contamination interne potentielle dans les milieux confinés et peu ventilés doit être réalisée.

En conclusion, la présence de radionucléides d'origine médicale ne paraît pas susceptible d'entraîner le dépassement de la dose maximale admissible pour le public ou les personnes travaillant sur le site de Ginestous (dosimétrie externe).

7 DISCUSSION

Les principales questions de la CGE étaient de connaître le ou les principaux établissements responsables de la présence d'iode 131 dans les résidus d'incinération, la part relative de chaque établissement dans l'ensemble des rejets, l'impact de la vidange des cuves de décroissance dans le réseau d'assainissement et l'exposition environnementale de l'usine de dépollution due à la présence de radioactivité artificielle.

Tout d'abord, l'origine de l'iode 131 présent dans le réseau d'assainissement toulousain et détecté dans les résidus d'incinération de l'usine de dépollution de Ginestous faisait l'objet d'hypothèses diverses en l'absence d'une étude approfondie sur le sujet. L'une d'entre elles était que chaque pic de radioactivité, détecté par la sonde Téléhydro fixe de l'usine de dépollution de Ginestous, était le résultat des vidanges des cuves de décroissance présentes au sein des différents établissements manipulant des sources non scellées.

Les données acquises lors de l'étude ont permis de démontrer que les vidanges des cuves de stockage des urines en provenance des chambres d'hospitalisation des services de médecine nucléaire ne contribuent pas de façon significative aux valeurs mesurées en routine. Conformément à la réglementation en vigueur, les urines des patients ayant ingéré des activités supérieures à 740 MBq, sont bien collectées dans leur totalité dans les cuves spécifiques destinées au stockage et à la décroissance de la radioactivité.

De ce fait, la quasi totalité de l'iode 131 présent dans le réseau d'assainissement proviendrait principalement de l'élimination par les selles des patients, après administration de ce radio-isotope pour des radiothérapies métaboliques. Les bilans calculés sur la base des données d'administration des radio-isotopes et des mesures effectuées par la sonde, permettent en effet de confirmer cette hypothèse. Les selles ne sont pas stockées et sont généralement dirigées directement vers le réseau d'assainissement. Malgré la rétention de 90% de la radioactivité mise en œuvre, le flux annuel d'iode 131 serait de 148 GBq par an (830 GBq/an pour le technétium 99 métastable).

Toutefois il convient de tempérer les résultats par le fait que l'utilisation d'une seule sonde mobile a constitué un facteur limitant pour l'étude des contributions respectives des rejets de la totalité des établissements de santé toulousains. De plus, les incertitudes associées aux valeurs mesurées, aux valeurs des débits, ainsi qu'aux calculs de décroissance effective de la radioactivité dans l'organisme des patients, sont trop importantes pour permettre d'extrapoler de façon fiable les résultats dans le temps. De même, les résultats de ce travail ne peuvent pas être étendus à d'autres agglomérations sans étude préalable pertinente.

Pour les mêmes raisons, l'impact des patients ambulatoires ne peut être démontré de façon précise. Cependant, au vu des résultats obtenus au poste nord de l'usine de dépollution de

Ginestous, il semblerait que ce phénomène ne soit pas non plus à négliger, notamment pour les patients ayant subi un diagnostic au technétium 99 métastable. Il est cependant important de ne pas oublier que d'autres établissements de santé réalisent des diagnostics ou possèdent des laboratoires de recherche, c'est pourquoi les bilans pourraient être précisés par de nouvelles mesures au niveau des collecteurs d'autres établissements.

Le pouvoir de dilution du réseau d'assainissement a également pu être évalué. Sur ce sujet, il est important de préciser les ordres de grandeur des valeurs réglementaires. L'arrêté du 30 octobre 1981 précise en effet que le débit du cours d'eau ou de l'émissaire dans lequel est rejeté le contenu des cuves après décroissance doit avoir un débit minimum de 5 m³/s. Cette valeur est à comparer au débit d'entrée de l'usine de dépollution de Toulouse où il y a, en moyenne, un débit de 4000 m³/h soit de 1,2 m³/s. Un tel débit constitue donc un point problématique puisque l'ensemble des valeurs calculées pour les valeurs guides dans cette circulaire l'ont été sur la base de cette dilution, impossible à obtenir en amont d'un réseau d'assainissement français.

Les valeurs guides préconisées par la circulaire du 9 juillet 2001 ne sont donc pas respectées dans le cas de l'iode 131. Nous avons pu constater, en outre, que les selles contribuent, à elles seules, à des pics d'activités volumiques bien supérieurs à 100 Bq/l et engendrent ainsi une valeur moyenne sur 24h supérieure elle aussi à la limite de 100 Bq/l.

Cette hypothèse mériterait d'être confirmée par des mesures sur des prélèvements de selles de patients hospitalisés dans les chambres protégées.

Enfin, l'étude de l'exposition environnementale externe de l'usine de dépollution de Ginestous permet de confirmer l'absence de dépassement de la dose réglementaire admissible pour le public ou pour le personnel travaillant sur site. Cependant ce volet de l'étude reste incomplet sans la prise en considération du risque lié à l'inhalation.

Une campagne de mesures pourrait également être envisagée au sein des différentes étapes du traitement de l'eau, d'une part dans les eaux et d'autre part dans les boues, afin de déterminer à quelle(s) étape(s) la radioactivité change de phase.

Enfin, il est important de signaler qu'un certain nombre de services de médecine nucléaire français réalisent le stockage des urines et des selles moyennant des cuves de stockage / décroissance adaptées.

Conclusion

Il a été démontré que les établissements de santé étudiés mettent en œuvre des moyens de radioprotection en conformité avec la réglementation et les recommandations de la circulaire DGS/DHOS de 2001.

Cependant, des dépassements de la valeur guide moyenne recommandée à l'émissaire des services de médecine nucléaire pour l'iode 131 ont été constatés.

L'hypothèse que l'on peut avancer au vu de l'ensemble des résultats est que la recommandation de séparation des selles et des urines induit la présence d'iode 131 du seul fait du rejet direct des selles au réseau d'assainissement.

Sur cette base, il apparaît intéressant d'envisager le stockage systématique des selles dans des cuves à la sortie des services de médecine nucléaire, dans des conditions permettant de limiter le risque nosocomial et de réaliser la décroissance le plus en amont possible.

En tout état de cause il est important de surveiller ces rejets à l'aide de dispositifs de mesure en continu et non par prélèvements ponctuels pour en comprendre au mieux les mécanismes.

Enfin, il serait bon d'étudier les possibilités de traitement des eaux, par l'intermédiaire de cartouches de charbons actifs par exemple, pour épurer les eaux usées et limiter ainsi les rejets radioactifs entrant en station d'épuration. Cela aurait pour conséquence la diminution de la radioactivité transférée dans les deux filières de stockage et d'incinération des boues.

8 BIBLIOGRAPHIE :

- BOCHUD F., 2004 - Cours de radiophysique, volume 1, chapitre 1- 2, [On-line], [Version du 17/03/04], 13 p.
- Circulaire DGS/SD 7D/DHOS/E 4 n° 2001-323 du 9 juillet 2001 relative à la gestion des effluents et des déchets d'activités de soins contaminés par des radionucléides (Direction Générale de la Santé, Sous-Direction de la Gestion des Risques des Milieux, Bureau des Rayonnements n°DGS/SD 7D - Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins, Sous-Direction de la Qualité et du Fonctionnement des Etablissements de Santé, Bureau de l'Ingénierie et des Techniques Médicales DHOS/E 4).
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P., 2003 - Radionucléides & radioprotection : guide pratique, édition CEA.
- DERRIEN B., 1999 - Impact sur la filière des déchets ménagers et des eaux usées des activités médicales utilisant des sources radioactives non scellées. Système de contrôle radiologique de chargement. Rapport de stage de 3ème année : Ecole des Métiers de l'Environnement - 86 p.
- ICPR Task Group 42, 2003 - Release of patients after therapy with unsealed radionuclides, 62 p.
- JOSSET M., PIGREE G., 2000 - Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest (A.C.R.O.) - Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité, Rapport d'étude : Etude de la répartition de radionucléides artificiels émetteurs gamma entre une usine de dépollution et son milieu environnant ; Cas de la station du District du Grand Caen., 54 p.
- Journal Officiel du 10 mai 2001 - Article L1331-10 du code de la santé publique, Loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 art. 3 I du.
- Journal Officiel du 29 novembre 1981 - Arrêté du 30 octobre 1981 relatif aux conditions d'emploi des radioisotopes artificiels utilisés en sources non scellées à des fins médicales.
- Journal Officiel n°81 du 6 avril 2002 - Décret 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants,
- LAVERGNAS L., 2004 - Plan de gestion interne des déchets et effluents marqués radiologiquement, ALGADE n° CHTO 60-0 2-10 03 V2-LL - 35p.
- Pr. DEVAUX J-Y, 2004 - Les bases physiques de l'imagerie nucléaire, [On-line], Biologie, St Antoine, Paris 6, mars 2004, 15 p.
- Pr. KOTZKI P.- O., 2004 - La médecine nucléaire, [On-line], service de médecine nucléaire, Centre hospitalier Gaston Doumergue, Nîmes.

- SOUBOUROU P., 2003 - Etude des radioisotopes d'origine médicale dans les égouts de la ville de Poitiers. Rapport de stage IRSN - Ecole des Mines de Nantes, 34 p.
- VANDECASTEELE C.M., VAN HEES M., HARDEMAN F., VOIGT G., HOWARD B.J., 2000 - The true absorption of ^{131}I , and its transfer to milk in cows given different stable iodine diets. Journal of Environmental Radioactivity, 47(2000) pp. 301-317.

9 LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 :	SCHEMAS PRESENTANT LES DISPOSITIFS DE COLLECTE DES EFFLUENTS CONTAMINES RADIOLOGIQUEMENT DES SERVICE DE MEDECINE NUCLEAIRE DE L'HOPITAL DE RANGUEIL ET DE L'INSTITUT CLAUDIUS REGAUD.	22
FIGURE 2 :	DIAGRAMMES DE REPARTITION DU POURCENTAGE DES ACTIVITES DE RADIOISOTOPES INJECTES RESPECTIVEMENT AU CHR DE RANGUEIL (POUR 1182 INJECTIONS) ET A L'ICR (POUR 603 INJECTIONS) EN 2003.....	23
FIGURE 3 :	SCHEMA DE L'IMPLANTATION DE LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE PAR RAPPORT AUX ETABLISSEMENTS HOSPITALIERS.....	27
FIGURE 4 :	PLAN DE LA VILLE DE TOULOUSE ET IMPLANTATION DES POINTS DE MESURE.....	30
FIGURE 5 :	LIEU D'IMPLANTATION DE LA SONDE PORTABLE.....	31
FIGURE 6 :	DISPOSITIF MIS EN PLACE POUR LES MESURES ET L'INTERCOMPARAISON.....	31
FIGURE 7 :	INSTALLATION DE L'ORDINATEUR AU POSTE DE RELEVAGE.....	32
FIGURE 8 :	INSTALLATION DE LA SONDE DANS LA CANALISATION D'EAUX USEES.....	32
FIGURE 9 :	POMPE PERISTALTIQUE UTILISEE POUR LE PRELEVEMENT.....	33
FIGURE 10 :	SCHEMA PRESENTANT LE PRINCIPE DU MODELE COMPARTIMENTAL OUVERT A TRANSFERT IRREVERSIBLE.....	34
FIGURE 11 :	CONFRONTATION DES RESULTATS DE MESURE DE L'IODE 131 EN LABORATOIRE ET SUR LE TERRAIN.....	39
FIGURE 12 :	CONFRONTATION DES RESULTATS DE MESURE DU TECHNETIUM 99 METASTABLE EN LABORATOIRE ET SUR LE TERRAIN ...	40
FIGURE 13 :	MESURES DE L' ¹³¹ I PAR LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE A LA SORTIE DU COLLECTEUR PRINCIPAL DU CHR DE RANGUEIL DU 25 FEVRIER AU 19 AVRIL 2004.....	42
FIGURE 14 :	MESURES DE ^{99m} Tc PAR LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE A LA SORTIE DU COLLECTEUR PRINCIPAL DU CHR DE RANGUEIL DU 23 MARS AU 10 AVRIL 2004.	43
FIGURE 15 :	MESURES D' ¹³¹ I REALISEES PAR LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE AU POSTE DE RELEVEMENT D'ESTRAPADE (CENTRE CLAUDIUS REGAUD) DU 20 AVRIL AU 10 JUIN 2004.....	45
FIGURE 16 :	MESURES DE ^{99m} Tc REALISEES PAR LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE AU POSTE DE RELEVEMENT D'ESTRAPADE (CENTRE CLAUDIUS REGAUD) DU 20 AVRIL AU 10 JUIN 2004.....	46
FIGURE 17 :	MESURES DE L' ¹³¹ I PAR LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE A LA SORTIE DU COLLECTEUR PRINCIPAL DU CHR DE RANGUEIL DU 23 MARS AU 10 AVRIL 2004.	51
FIGURE 18 :	MESURES DE L' ¹³¹ I PAR LA SONDE TELEHYDRO PORTABLE AU POSTE DE RELEVEMENT D'ESTRAPADE DU 19 AU 29 MAI 2004.	53
FIGURE 19 :	DIAGRAMME REPRESENTANT L'ORIGINE ET LE TRANSFERT DE L'IODE 131 AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT.....	55
FIGURE 20 :	DIAGRAMME REPRESENTANT L'ORIGINE ET LE TRANSFERT DU TECHNETIUM 99 METASTABLE AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT ..	56
FIGURE 21 :	COMPARAISON DES MOYENNES DES ACTIVITES VOLUMIQUES MESUREES POUR L'IODE 131.....	58
FIGURE 22 :	MESURES DE TECHNETIUM 99 METASTABLE AU POSTE NORD DE L'USINE DE DEPOLLUTION DE GINESTOUS DU 12 JUIN 2004 AU 30 AOUT 2004.	59
FIGURE 23 :	MESURES D'IODE 131 AU POSTE NORD DE L'USINE DE DEPOLLUTION DE GINESTOUS DU 12 JUIN 2004 AU 30 AOUT 2004.	60

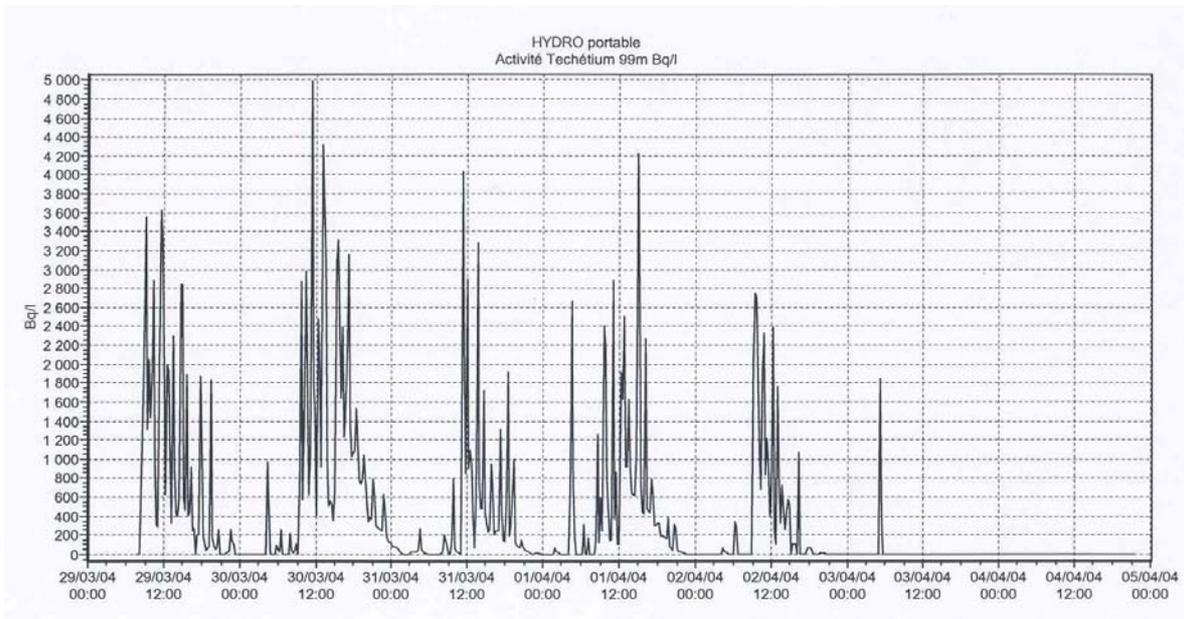
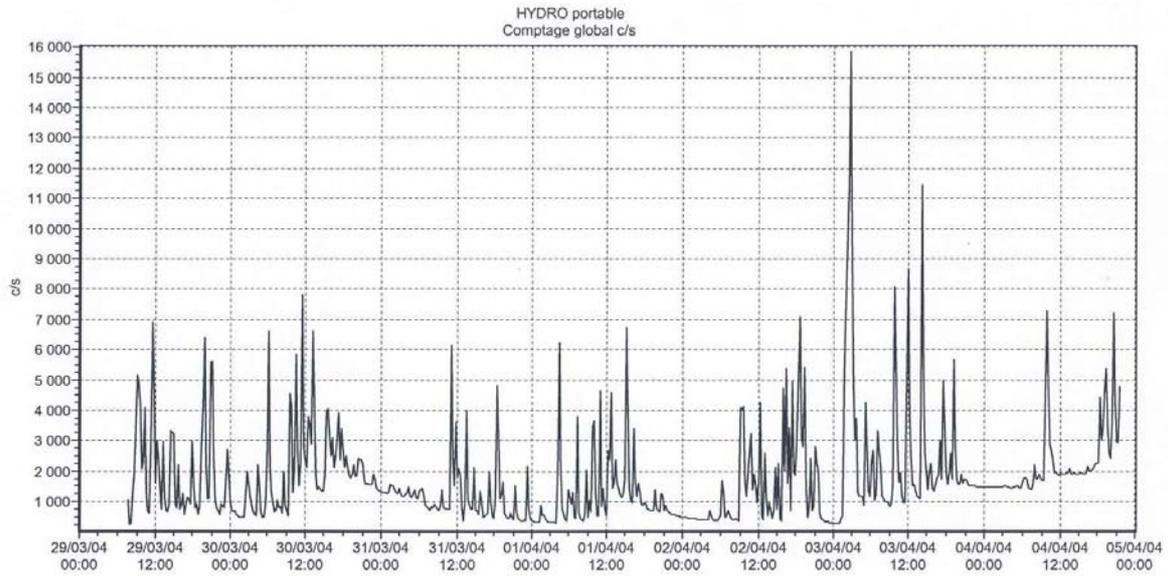
10 LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 :	EXEMPLES DE QUELQUES RADIOPHARMACEUTIQUES COURAMMENT UTILISES EN SCINTIGRAPHIE	12
TABLEAU 2 :	DONNEES D'INTERCOMPARAISON POUR LA VALIDATION DE LA SONDRE PORTABLE (INCERTITUDE A PLUS OU MOINS LA VALEUR CONSIDEREE)	39
TABLEAU 3 :	VALEURS MOYENNES ET MAXIMALES (EN BQ/L) ENREGISTREES AUX EMISSAIRES DES CHR RANGUEIL ET INSTITUT CLAUDIUS REGAUD	48
TABLEAU 4 :	RESULTATS DE LA MODELISATION DE L'ELIMINATION DE L'IODE 131 PAR LES PATIENTS EN FONCTION DU TYPE DE THERAPIE AU CHR DE RANGUEIL SUR UNE PERIODE DE 19 JOURS	52
TABLEAU 5 :	RESULTATS DE LA MODELISATION DE L'ELIMINATION DE L'IODE 131 PAR LES PATIENTS EN FONCTION DU TYPE DE THERAPIE AU L'ICR SUR UNE PERIODE DE 11 JOURS	54
TABLEAU 6 :	RESULTATS DE L'ETUDE DE L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE AUX RAYONNEMENTS GAMMA A L'AIDE DES DOSIMETRES THERMOLUMINESCENTS	61

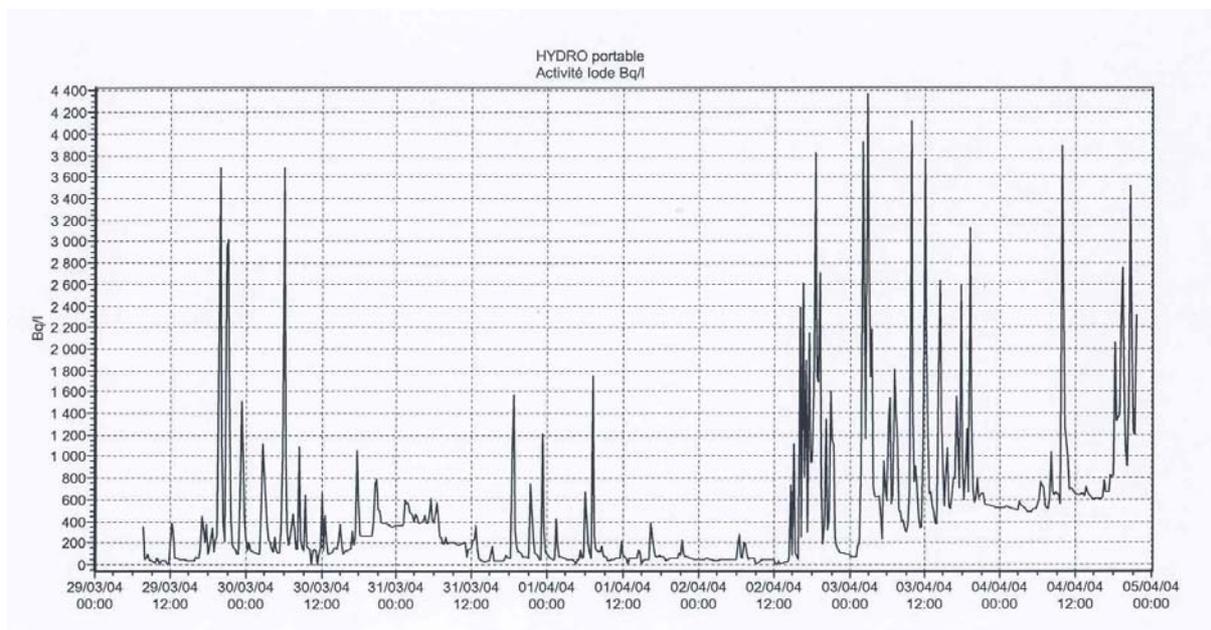
11 ANNEXES :

ANNEXE 1 : SPECTRE ET COURBE REPRESENTANT RESPECTIVEMENT LE COMPTAGE GLOBAL ET LA CONCENTRATION EN BQ/L DU TECHNETIUM 99 METASTABLE AU COURS D'UNE SEMAINE	71
ANNEXE 2 : COURBES REPRESENTANT LES CONCENTRATIONS EN BQ/L DE L'IODE 131 AU COURS D'UNE SEMAINE.....	72
ANNEXE 3 : GAMMA CAMERAS.....	73
ANNEXE 4 : PLAN DE CIRCULATION DES FLUIDES - FILIERE BOUE.....	74
ANNEXE 5 : PLAN DE CIRCULATION DES FLUIDES - FILIERE EAU	75
ANNEXE 6 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'USINE DE DEPOLLUTION COMPRENANT LES ETAPES PRINCIPALES DU TRAITEMENT ET DES EAUX ET DES BOUES INCLUANT LE POSITIONNEMENT DES DTL (EN JAUNE).....	76
ANNEXE 7 : MODELE DE L'ELIMINATION DE L'IODE 131 UNE GROSSE THERAPIE (3700 MBQ).....	77
ANNEXE 8 : MODELE DE L'ELIMINATION DE L'IODE 131 UNE GROSSE THERAPIE (2200 MBQ).....	77

Annexe 1 : SPECTRE ET COURBE REPRESENTANT RESPECTIVEMENT LE COMPTAGE GLOBAL ET LA CONCENTRATION EN BQ/L DU TECHNETIUM 99 METASTABLE AU COURS D'UNE SEMAINE



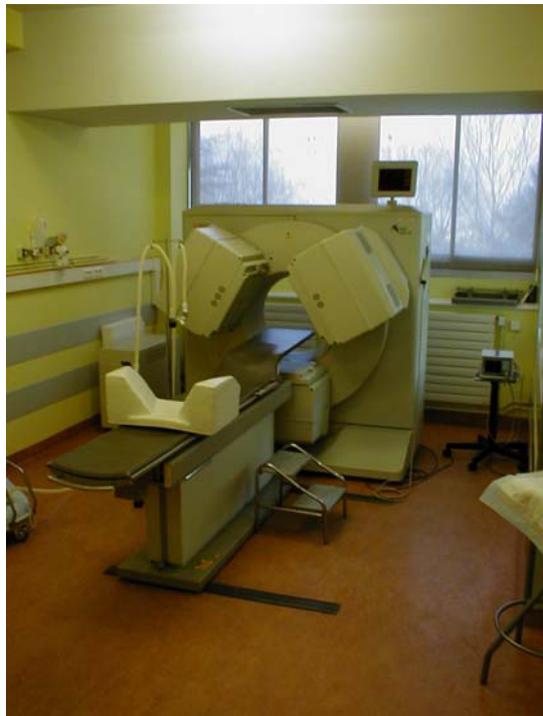
Annexe 2 : COURBES REPRESENTANT LES CONCENTRATIONS EN Bq/L DE L'IODE 131 AU COURS D'UNE SEMAINE



Annexe 3 : GAMMA CAMERAS

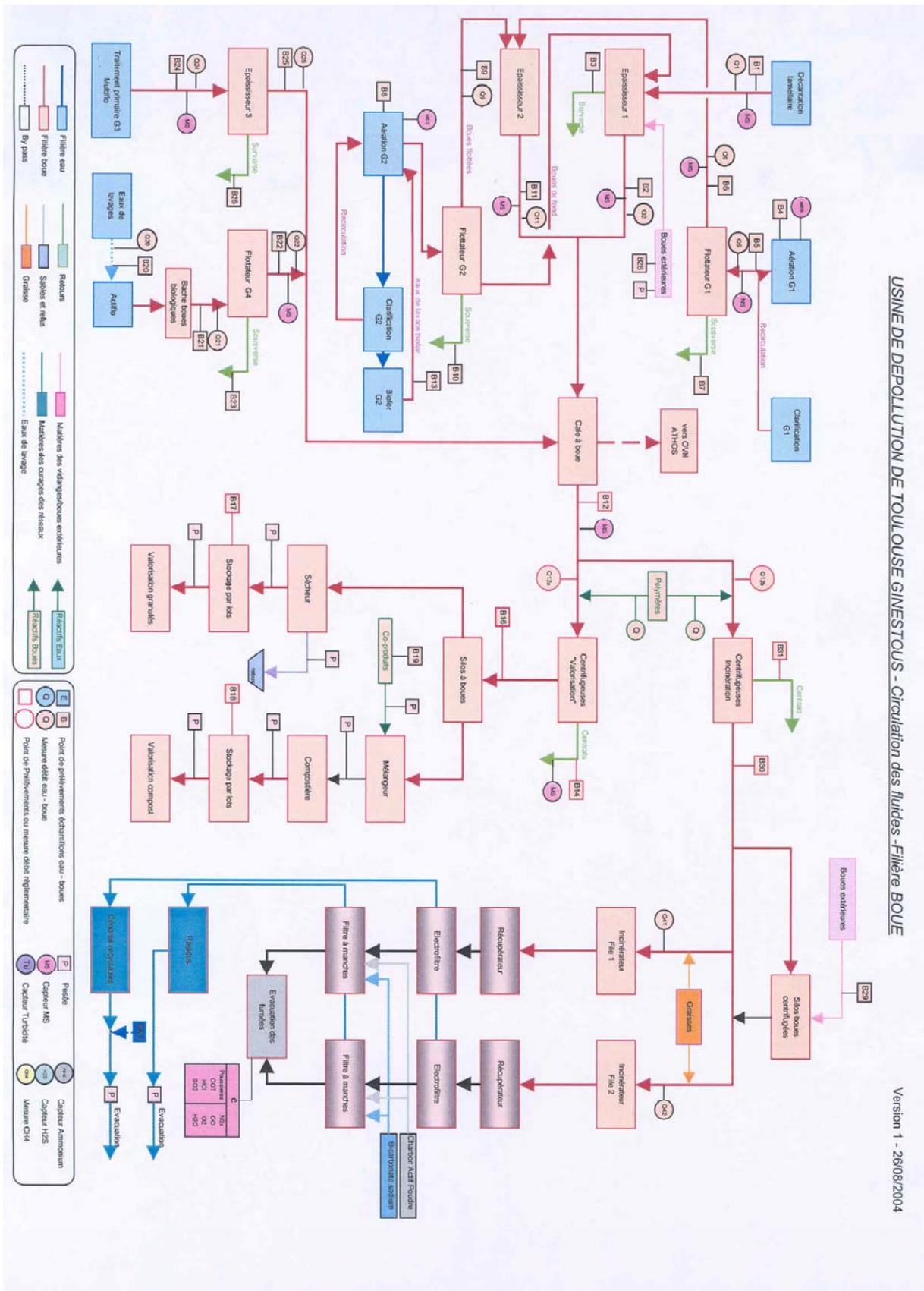


Gamma caméra simple tête appartenant à l'hôpital de Ranguel

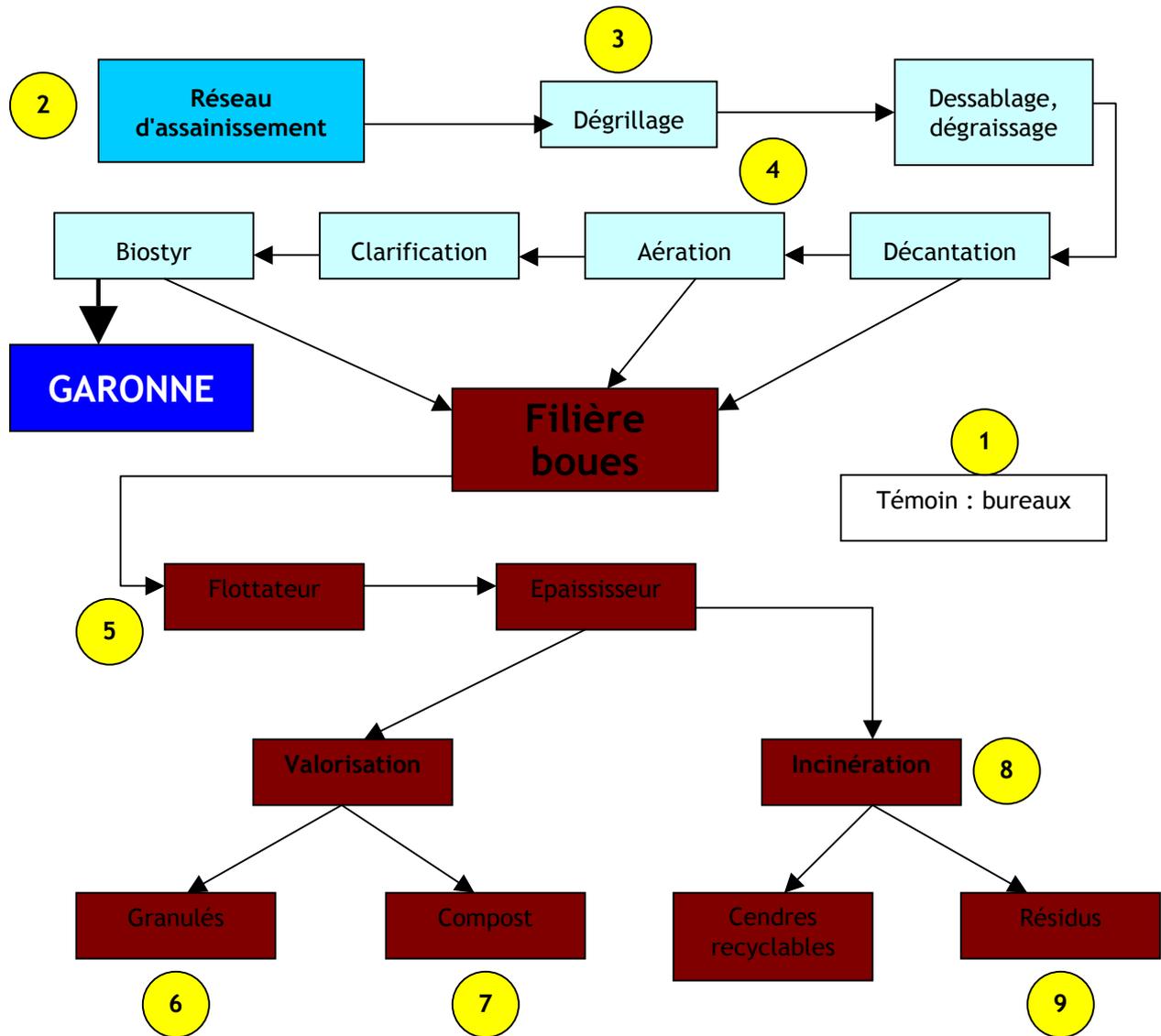


Gamma caméra double tête appartenant à l'hôpital de Ranguel

Annexe 4 : PLAN DE CIRCULATION DES FLUIDES – FILIERE BOUE



Annexe 6 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'USINE DE DEPOLLUTION COMPRENANT LES ETAPES PRINCIPALES DU TRAITEMENT ET DES EAUX ET DES BOUES INCLUANT LE POSITIONNEMENT DES DTL (EN JAUNE).



Annexe 7 : MODELE DE L'ELIMINATION DE L'IODE 131 UNE GROSSE THERAPIE (3700 MBq)

Activité
totale
ingérée
3700 MBq

Jours	Activité fixée à la thyroïde (30%)	Activité thyroïdienne après décroissance physique	Activité thyroïdienne après décroissance biologique	Activité éliminée	Activité fixée à l'organisme entier (70%)	Activité organisme entier après décroissance physique	Activité organisme entier après décroissance biologique	Activité éliminée	Estimation de la fraction contenue dans les selles
1	1110	1018	1011	7	2590	2376	1136	1239	187
2	1011	927	921	6	1136	1042	499	544	83
3	921	845	839	6	499	457	219	239	37
4	839	769	764	5	219	201	96	105	16
5	764	701	696	5	96	88	42	46	8
6	696	638	634	4	42	39	18	20	4
7	634	581	577	4	18	17	8	9	2
8	577	530	526	4	8	7	4	4	1
9	526	482	479	3	4	3	2	2	1
10	479	439	436	3	2	1	1	1	1
11	436	400	398	3	1	1	0	0	0
12	398	365	362	3	0	0	0	0	0
13	362	332	330	2	0	0	0	0	0
14	330	303	300	2	0	0	0	0	0
15	300	276	274	2	0	0	0	0	0
16	274	251	249	2	0	0	0	0	0
17	249	229	227	2	0	0	0	0	0
18	227	208	207	1	0	0	0	0	0
19	207	190	188	1	0	0	0	0	0
20	188	173	172	1	0	0	0	0	0
21	172	157	156	1	0	0	0	0	0

Annexe 8 : MODELE DE L'ELIMINATION DE L'IODE 131 UNE GROSSE THERAPIE (2200 MBq)

Activité
totale
ingérée
2200 MBq

Jours	Activité fixée au foie (70%)	Activité du foie après décroissance physique	Activité du foie après décroissance biologique	Activité éliminée	Activité fixée à l'organisme entier (30%)	Activité organisme entier après décroissance physique	Activité organisme entier après décroissance biologique	Activité éliminée	Estimation de la fraction contenue dans les selles
1	1540	1413	1412	0	660	605	574	31	5
2	1412	1296	1295	0	574	526	499	27	4
3	1295	1188	1188	0	499	458	434	24	4
4	1188	1090	1090	0	434	398	377	21	3
5	1090	1000	999	0	377	346	328	18	3
6	999	917	917	0	328	301	285	16	2
7	917	841	841	0	285	262	248	14	2
8	841	771	771	0	248	228	216	12	2
9	771	707	707	0	216	198	188	10	2
10	707	649	649	0	188	172	163	9	1
11	649	595	595	0	163	150	142	8	1
12	595	546	546	0	142	130	123	7	1
13	546	500	500	0	123	113	107	6	1
14	500	459	459	0	107	98	93	5	1
15	459	421	421	0	93	86	81	4	1
16	421	386	386	0	81	74	71	4	1
17	386	354	354	0	71	65	61	3	1
18	354	325	325	0	61	56	53	3	0
19	325	298	298	0	53	49	46	3	0
20	298	273	273	0	46	43	40	2	0
21	273	251	251	0	40	37	35	2	0