

Journées techniques de la Société Française de Radioprotection Retour sur les journées organisées les 26 et 27 mars 2024

L'iode dans tous ses états

Ludovic VAILLANT¹, Elisabeth LECLERC², Nicolas BAGLAN³, Pierre-Yves HEMIDY⁴, Eric LAPORTE⁴, Fabrice LEPRIEUR⁵, Florence MENETRIER³, Véronique MENARD³, Nathalie REYNAL⁶, Michael PETITFRERE⁶, Patrick DEVIN⁷

¹CEPN, 28 rue de la Redoute, 92 260 Fontenay-aux-Roses, France

²Andra, 1-7 rue Jean Monnet 92 298 Châtenay-Malabry Cedex, France

³CEA, Centre Paris-Saclay, BP6, 92 265 Fontenay-aux-Roses, France

⁴EDF, 1 place Pleyel, 93 282 Saint-Denis Cedex, France

⁵CEA, Bruyères-le-Châtel, 91 297 Arpajon Cedex, France

⁶ASNR, 15 rue Louis Lejeune, 92 541 Montrouge Cedex, France

⁷Orano, 125 avenue de Paris, 92 320 Châtillon, France

1. INTRODUCTION

Les Sections Recherche & Santé et Environnement de la Société Française de Radioprotection (SFRP) ont organisé les 26 et 27 mars 2024, à Paris, des journées techniques dédiées à l'iode. Cet article propose une synthèse non exhaustive des enjeux de radioprotection discutés lors de ces deux journées et des travaux présentés à l'occasion de cette manifestation.

L'iode a été découvert en 1811 par Bernard Courtois, pharmacien et chimiste français (1777-1838). C'est un élément essentiel pour la santé humaine (oligo-élément). Incorporé dans le corps humain, l'iode se concentre principalement dans la glande thyroïde et joue un rôle prépondérant dans la synthèse des hormones thyroïdiennes. Celles-ci sont indispensables à la croissance et au développement dès la période fœtale, et jouent également un rôle majeur dans la régulation du métabolisme et de nombreuses fonctions vitales chez l'adulte, rendant indispensable un apport quotidien suffisant en iode stable (environ 150 µg par jour pour un adulte).

Parmi les 37 isotopes de l'iode, ¹²⁷I est le seul isotope stable (Tab. 2). Plusieurs isotopes de l'iode sont utilisés dans le domaine médical, seul ou combiné à des molécules vectrices, en particulier ¹³¹I. Cet isotope, d'une demi-vie de 8,02 jours, est notamment utilisé pour le traitement de pathologies de la thyroïde. L'iode 131 est produit par fission dans des réacteurs dédiés à la production de radionucléides à usages pharmaceutiques, qui utilisent des cibles enrichies en ²³⁵U ou par activation de ¹³⁰Te (cible de TeO₂).

L'iode 129, dont la demi-vie est de 15,7.10⁶ années, est également produit par fission dans les assemblages de combustible des réacteurs à eau pressurisée du parc électronucléaire d'EDF au sein desquels il reste confiné. Le traitement du combustible usé réalisé par l'usine Orano de La Hague (cisaillement des crayons et dissolution du combustible) génère des rejets liquides et gazeux d'¹²⁹I qui après contrôles sont rejetés dans l'environnement conformément aux exigences réglementaires. Si l'impact dosimétrique de ces rejets est faible, les études menées sur les phénomènes complexes de spéciation et de dispersion de l'iode après rejet, contribuent, en particulier, à une meilleure compréhension du devenir de l'¹²⁹I dans

l'environnement. Ces travaux contribuent également à mieux apprécier les conséquences d'un rejet accidentel d'¹³¹I dans l'environnement, et à adapter les contre-mesures à mettre en place en situation d'urgence.

2. GÉNÉRALITÉS

L'iode stable est principalement présent dans les sédiments marins (68 % du stock total d'iode) et les roches sédimentaires continentales (28 % du stock). L'iode est un élément particulièrement sensible au pH et aux conditions d'oxydoréduction, ce qui impacte la nature des formes chimiques en présence dans un milieu. Dans le milieu marin, l'iode existe principalement sous les formes I⁻, IO₃⁻ et organique (CH₃I). Les algues marines peuvent accumuler l'iode et présenter des concentrations très élevées. Dans l'atmosphère, la concentration en iode varie de 1 à 100 ng.m⁻³ en fonction principalement de la distance par rapport à l'océan. L'iode atmosphérique se présente sous forme inorganique (I₂ et HOI pour environ 80 %) et organique (CH₃I pour environ 20 %). L'iode dans les sols est considéré d'origine océanique et sa concentration varie d'un sol à l'autre entre 1 et 5 mg.kg⁻¹. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les sols riches en matières organiques.

L'iode est un oligoélément essentiel pour la santé humaine. Dans le corps humain, il se concentre principalement dans la glande thyroïde après incorporation sous sa forme iodure (I⁻). L'iode est indispensable à la synthèse des hormones thyroïdiennes, la triiodothyronine (T3) et la thyroxine (T4). La production de ces hormones est sous le contrôle de l'hypophyse par le biais de la TSH (Thyroid Stimulating Hormon). Les hormones thyroïdiennes régulent le métabolisme de base (consommation d'oxygène, thermorégulation, maintien du taux de protéines-glucides-lipides dans le sang). Elles assurent un fonctionnement musculaire et un rythme cardiaque normaux, et régulent la motricité intestinale. Le dérèglement de la fonction thyroïdienne (hyperthyroïdie ou hypothyroïdie) a, en conséquence, des effets néfastes sur la santé humaine dès le stade fœtal. Ainsi, au cours du 1^{er} trimestre de grossesse, les hormones thyroïdiennes maternelles sont essentielles à la croissance et à la maturation des tissus, et notamment le cerveau du fœtus. A la fin du troisième mois, la thyroïde fœtale devient autonome, produit de la T4, grâce à l'iode ingéré par la mère. Un apport suffisant en iode (Tab. 1) dans l'alimentation est donc essentiel pour la mère et l'enfant à naître.

Tableau 1. Apports recommandés en iode par l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS)

Profil	Apport recommandé (µg.j ⁻¹)
0 à 12 mois	50
1 à 6 ans	90
7 à 12 ans	120
A partir de 12 ans	150
Grossesse	200
Allaitement	200

L'iode possède 37 isotopes connus, dont l'¹²⁷I qui est stable. Les caractéristiques des principaux isotopes de l'iode sont reportées dans le Tab. 2. Les isotopes 123, 125 et 131 (en particulier) ont des applications dans le domaine médical. Les propriétés thérapeutiques et diagnostiques de l'¹³¹I ont été identifiées dès 1936 par Saul Hertz, et un premier patient a été traité avec ¹³¹I pour hyperthyroïdie en 1941. Aujourd'hui, l'¹³¹I destiné aux applications médicales est produit par un nombre limité d'acteurs, dont l'Institut national des radioéléments (IRE), situé en Belgique, qui produit environ 25 à 30% de la demande mondiale. L'¹³¹I est en pratique un produit secondaire de la production de ⁹⁹Mo produit par fission dans des réacteurs nucléaires et à l'origine de la production d'un autre radionucléide très utilisé en médecine nucléaire, le ^{99m}Tc.

Tableau 2. Principaux isotopes de l'iode

Isotope	Demi-vie	Mode de désintégration	Gamma majeur (keV)
120	1,35 h	CE, β^-	560
123	13,2 h	CE	159
124	4,18 j	CE, β^+	603
125	60,1 j	CE	35,5
126	13 j	CE, β^- , β^+	389, 666, 754
127	Stable		
128	25 m	β^- , β^+ , CE	443
129	15,7 10^6 a	β^-	29,8
130	12,4 h	β^-	418, 536, 740
131	8,02 j	β^-	364,5
132	2,3 h	β^-	668
133	20,8 h	β^-	530
134	52,6 m	β^-	884
135	6,61 h	β^-	1132, 1260

3. L'UTILISATION DE L'IODE DANS LE DOMAINE MÉDICAL

3.1 Les usages diagnostic et thérapeutique de l'iode radioactif en milieu médical

L'iode radioactif est un médicament radiopharmaceutique utilisé en imagerie médicale (scintigraphie), dans les services de médecine nucléaire, notamment pour diagnostiquer des maladies affectant la thyroïde, en complément de l'échographie et des analyses biologiques (TSH et hormones thyroïdiennes). L'imagerie s'appuie sur une gamma caméra qui permet d'observer la distribution intra thyroïdienne de l'iode radioactif préalablement administré au patient (^{123}I). Elle permet de quantifier le taux de fixation de l'iode et d'identifier des dysfonctionnements, contribuant à l'élaboration du diagnostic (autonomisation d'un amas nodulaire par exemple). Afin d'améliorer les pratiques et les protocoles de quantification des services de médecine nucléaire français, un groupe de travail SFPM/IRSN¹ a été créé.

Pour certaines pathologies, le traitement recommandé est l' ^{131}I . L'Association Européenne de Médecine Nucléaire (EANM) recommande de personnaliser la dose pour le traitement des maladies bénignes de la thyroïde, comme la maladie de Basedow (100 à 150 Gy pour un traitement non ablatif). Pour un goitre nodulaire toxique, la dose absorbée recommandée est de 300 à 400 Gy. Un enjeu important pour les personnels et le patient consiste à définir précisément l'activité à injecter au patient pour atteindre l'objectif thérapeutique (ici la dose équivalente à la thyroïde) en tenant compte, en particulier, des caractéristiques du patient : géométrie et masse de la thyroïde et taux de fixation en iode 131. L'évaluation du taux de fixation requiert une mesure précise de l'activité en ^{131}I dans la thyroïde. Afin de ne pas faire revenir le patient, un seul temps de mesure de la fixation est utilisé ; la formule simplifiée de l'EANM est employée pour calculer l'activité à administrer au patient. Une sous-estimation de l'activité peut conduire à une sous-estimation du taux de fixation et donc à une activité injectée, une dose, trop élevée. La précision de la mesure (et donc la qualité du traitement) peut être améliorée en utilisant des fantômes d'étalonnage réalistes. Grâce à une modulation pharmacologique, il est possible de quantifier la dose pour un objectif non ablatif du traitement, notamment dans le cas de la maladie de Basedow.

En cas de cancer thyroïdien, un traitement à l' ^{131}I (par ingestion d'une gélule contenant de l'iode 131) peut être envisagé en fonction des caractéristiques du cancer (Cf. classification des

¹ La loi du 21 mai 2024 relative à l'organisation de la gouvernance de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour répondre au défi de la relance de la filière nucléaire a rassemblé au sein d'un même organisme, les équipes de l'IRSN et de l'ASN en créant, depuis le 1^{er} janvier 2025, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR),

cancers thyroïdiens), du niveau de risque et de l'objectif thérapeutique (adjuvant ou curatif) dans le cadre de réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP) : activité faible en complément d'une ablation chirurgicale (0,74 GBq ^{131}I) ; activité intermédiaire en traitement adjuvant (2,2 GBq ^{131}I) et activité forte en situation thérapeutique (3,7 à 7,4 GBq d' ^{131}I). Néanmoins, le traitement peut être adapté en fonction de la situation et des caractéristiques du patient, comme l'illustre le traitement par ^{131}I d'un patient de 2 ans pour le traitement d'un cancer thyroïdien au Centre de Lutte Contre le Cancer François Baclesse de Caen. Pour ce patient, l'injection, plutôt que l'administration *per os*, de ^{131}I (531 MBq) a été privilégiée avec un système d'injection adapté aux caractéristiques morphologiques (volume sanguin). Une attention particulière a été accordée à la gestion de l'exposition de l'entourage, à l'optimisation des protocoles d'imagerie (NRD pédiatriques) ainsi qu'à la gestion des déchets d'activités de soins et des effluents.

La thérapie du cancer de la thyroïde à l'iode 131 peut entraîner des effets secondaires avec des dysfonctionnements salivaires ou lacrymaux, pouvant avoir des conséquences psychologiques (anxiété, dépression) et sur la qualité de vie. L'étude START², lancée en 2020 et pilotée par le laboratoire d'épidémiologie de l'IRSN, a pour objectif d'estimer l'incidence de ces effets 6 mois après le traitement, d'identifier les facteurs de risque et d'évaluer la relation dose-effet.

3.2 La gestion des rejets hospitaliers

L'utilisation d'isotopes radioactifs de l'iode en milieu médical génère des déchets et des effluents qui nécessitent des dispositions de gestion appropriées. A titre d'exemple, à l'hôpital Cochin, les patients traités en radiothérapie interne vectorisée sont installés dans des chambres individuelles regroupées dans une même unité (elles sont par ailleurs équipées de protections biologiques adaptées au zonage des locaux). Ces chambres, dites radioprotégées, sont équipées de sanitaires reliés à des cuves de décroissance avant contrôles et rejets dans le réseau d'assainissement. Les chambres sont également ventilées et en dépression (ventilation séparée, passage des effluents gazeux sur filtre HEPA et charbon actif avant rejet). La manipulation d'importantes quantités d'iode radioactif dans les établissements hospitaliers nécessite un haut niveau de compétence des personnels et une culture de radioprotection solidement ancrée et partagée au sein de l'organisation.

A l'hôpital, la gestion des déchets s'appuie sur le plan de gestion des déchets radioactifs de l'établissement et fait l'objet d'une traçabilité. Priorité est donnée à la décroissance de ^{131}I (sur une durée de 10 périodes, soit environ 3 mois, ^{131}I ayant une demi-vie d'environ 8 jours) dans des conteneurs spécifiques avant élimination. Les urines (90% de l'activité) contaminées sont orientées vers des cuves de décroissance et entreposées avant vidange dans le réseau de traitement des eaux usées. A titre d'exemple, l'hôpital Cochin dispose d'une autorisation de déversement dans le réseau d'assainissement de la ville de Paris, en accord avec l'article L.1331-10 du Code de la Santé Publique. Les selles (10% de l'activité) sont recueillies dans des fosses septiques et rejetées dans le réseau urbain en temps différé.

L'impact des rejets hospitaliers peut être évalué à l'aide de l'outil CIDRRE (Calcul d'Impact des Déversements Radioactifs dans les REseaux) développé par l'IRSN et en accès libre sur Internet (<https://cidrre.irsln.fr>). L'outil CIDRRE permet, suivant une approche graduée, de juger du caractère acceptable des rejets des installations hospitalières à partir d'une estimation conservatrice de la dose aux travailleurs potentiellement exposés. Les personnes prises en compte dans les évaluations dosimétriques sont les égoutiers, les travailleurs de la station de traitement des eaux et les travailleurs manipulant les boues déshydratées (produites au niveau des stations d'épuration). Le rejet est jugé acceptable si la dose estimée est inférieure à 1

² Étude du risque de complications salivaires chez les patients traités à l'iode radioactif dans le cadre d'un cancer de la thyroïde. <https://www.irsln.fr/page/etude-start-etude-risque-complications-salivaires-chez-patients-traitees-liode-radioactif-dans>

mSv.an⁻¹ pour tous les profils concernés. Des développements sont en cours pour évaluer l'impact sur le public lié au rejet et à l'utilisation des boues produites dans les stations d'épuration.

4. CONTRÔLE DES REJETS D'IODE PAR LES INB ET SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

4.1 Cas du Parc électronucléaire d'EDF

La production d'électricité par les CNPE du parc d'EDF repose sur la fission de ²³⁵U et, dans une moindre mesure, de ²³⁹Pu. Parmi les radionucléides produits lors de la réaction de fission qui se déroulent au sein du combustible on retrouve plusieurs isotopes radioactifs de l'iode qui restent en majorité confinés dans la gaine des crayons de combustible. Une faible fraction peut néanmoins passer dans l'eau du circuit primaire (RCP) et conduire à des rejets d'iodes radioactifs par voies gazeuse et liquides comptabilisés séparément de la catégorie Produits de Fission-Produits d'Activation (PF-PA). Ces rejets, qui font l'objet d'une autorisation accordée par l'ASN, sont strictement réglementés et contrôlés.

Deux grandes catégories d'effluents radioactifs gazeux peuvent contenir des iodes. Les effluents gazeux hydrogénés (issus du RCP), collectés et entreposés plus de 30 jours pour décroissance et systématiquement analysés avant réalisation d'un rejet dit « concerté » à la cheminée après passage sur filtres de très haute efficacité (THE) et piège à Iodes(PI)) et les effluents aérés (issus de la collecte des événements des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du bâtiment réacteur et de la ventilation/soufflage des locaux de l'îlot nucléaire et rejetés en permanence à la cheminée après passage sur filtres THE et/ou PI) qui représentent en volume l'essentiel des rejets radioactifs gazeux. La cheminée est instrumentée de dispositifs de mesures et de prélèvement à des fins de contrôle et comptabilisation de l'activité rejetée. Les rejets d'iodes gazeux sont inférieurs à 0,02 GBq.an⁻¹ réacteur⁻¹ en moyenne depuis une dizaine d'année.

Les effluents liquides (effluents primaires hydrogénés (issus du RCP) et effluents usés (issus des circuits auxiliaires)) font l'objet d'une collecte sélective et d'un traitement adapté (filtration, évaporation, ...) afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Ils transitent dans des réservoirs de stockage où ils font l'objet de contrôles systématiques avant et pendant le rejet. Les rejets d'iodes par voie liquide sont inférieurs à 5 MBq.an⁻¹ réacteur⁻¹ en moyenne. Chaque CNPE dispose d'un programme de surveillance de l'environnement établi en accord avec l'ASN.

En surveillance de routine, les activités en iodes rejetés dans l'environnement étant très faibles (i.e., principalement lié à la méthode de comptabilisation), ils ne sont pour ainsi dire jamais détectés. En revanche, la surveillance complémentaire mise en place par EDF sur l'ensemble de ses CNPE depuis 1992 permet de détecter de l'¹³¹I dans l'environnement en de rares occasions : lors de la surveillance de l'arrivée des masses d'air contaminées en provenance de Fukushima en 2011, en amont des sites dans le compartiment aquatique fluvial en lien avec les rejets liquides hospitaliers et dans des algues de manière très ponctuelle. En conséquence, l'impact dosimétrique attribuable aux rejets d'iodes radioactifs par les CNPE en fonctionnement normal est faible, de l'ordre de 0,1 nSv/an (0,1.10⁻⁹ Sv/an).

4.2 Les rejets d'iode de l'usine Orano de La Hague

Le traitement du combustible usé réalisé à l'usine Orano de La Hague conduit à un rejet d'iodes, majoritairement d' ^{129}I , dans les effluents liquides rejetés en mer, voie de rejet privilégiée pour minimiser l'impact dosimétrique (100 à 1000 fois moins élevé que sous la forme gazeuse compte tenu des coefficients de dispersion et de dilution et des facteurs de transferts vers la chaîne alimentaire) et gazeux. Dans une moindre mesure, il est détecté de l'iode 131 et 133 issus de la fission spontanée du curium 244. La surveillance des rejets et de l'environnement est donc ciblée sur l'iode 129. De plus, la grande majorité de l'iode présent dans le combustible se retrouve dans les gaz de dissolution, majoritairement sous forme moléculaire d'iode I_2 gazeuse. La forme particulaire est à des niveaux très faibles non détectables par les mesures réalisées en cheminées. En 2023, le rejet d' ^{129}I par voie gazeuse est estimé à 5,18 GBq (pour une limite de rejet annuelle fixée à 18 GBq.an⁻¹) et celui par voie liquide à 1,16 TBq (1 160 GBq) (pour une limite de rejet annuelle fixée à 2 600 GBq.an⁻¹). Cette gestion des rejets d'iode est réalisée en application des MTD (Meilleures technologies disponibles). Cela consiste en un traitement des gaz de dissolution dans des colonnes d'absorption gaz-liquide. La dernière étant lavée à la soude, l'iode se solubilise dans la solution de lavage, principalement sous forme d'iodures, et également d'iodates. L'effluent liquide de lavage est finalement mélangé aux eaux tritiées avant d'être rejeté en mer après contrôles. Afin de piéger les gaz résiduels, des pièges à iode sont également mis en œuvre au niveau des ventilations des ateliers de cisailage, en aval des unités de traitement des gaz de dissolution par lavage à la soude, ainsi que dans les ateliers de vitrification. Les supports de ces pièges sont constitués d'alumine ou de silice imprégnés au nitrate d'argent (pièges zéolithes). Ils agissent en complément du lavage à la soude réalisé en amont.

La surveillance du compartiment atmosphérique s'appuie sur un réseau de 5 stations villages implantées dans des villages environnant le site, munies de dispositifs de prélèvement d'iode (cartouches à charbon actif). Les mesures réalisées sont inférieures au seuil de décision analytique (de l'ordre de 8 mBq.m⁻³). La surveillance terrestre s'appuie sur des prélèvements de lait (9 producteurs) et d'herbe (18 points). La surveillance marine s'appuie sur des prélèvements d'algues (fucus) sur la côte (12 points). L'ensemble des résultats de la surveillance est accessible au public, notamment sur le site Internet du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (www.mesure-radioactivite.fr). L'impact des rejets d' ^{129}I est de 0,65 µSv pour le groupe de référence "pêcheurs de Goury", et 0,49 µSv pour la population de référence "agriculteurs de Digulleville" (en 2022).

4.3 Le Centre de Stockage de l'Aube

Sur le Centre de Stockage de l'Aube exploité par l'Andra, l'exploitant assure le suivi en continu des rejets atmosphériques d'iodes radioactifs (principalement lié au compactage de colis de déchets). Ce suivi s'appuie sur le piégeage de l'iode contenu dans un prélèvement représentatif de l'air rejeté (sur cartouche à charbon actif) et une mesure par spectrométrie gamma. L'iode détecté avant 1999 provenait du compactage de déchets hospitaliers. Depuis 1999, toutes les mesures sont inférieures à la limite de détection (les déchets hospitaliers sont orientés vers l'usine Cyclife), à l'exception de la détection ponctuelle en 2011 de ^{131}I lié aux retombées de l'accident de Fukushima. L'Andra accorde une importance particulière à l'identification des différentes formes chimiques de l'iode afin d'évaluer au mieux la dose au groupe critique (laquelle est bien inférieure au µSv.an⁻¹).

4.4 Recherche et développement

Indépendamment du niveau d'exposition, l'évaluation de la dose (et des dépôts) associée à la présence d' ^{129}I ou d' ^{131}I dans les différents compartiments de l'environnement nécessite une connaissance précise des caractéristiques physico-chimiques de l'iode. Pour le compartiment atmosphérique par exemple, des travaux sont réalisés pour distinguer l'iode gazeux sous ses différentes formes : organique (comme ICH_3), inorganique (I_2) et particulaire. Pour le piégeage sélectif des formes iodées volatiles, l'IRSN développe ainsi, dans le cadre du projet SPECIOSA, un système à 2 étages caractérisé chacun par un adsorbant sélectif. Le premier étage permet le piégeage sélectif de I_2 (sans affinité pour l'iode organique) et le second celui de l'iode sous formes organiques. Ces travaux s'appuient entre autres sur la plate-forme d'essai PERSÉE. L'IRSN étudie également la granulométrie de l'iode particulaire à partir d'impacteur cascade comportant plusieurs étages de tri granulométrique. Ces développements pourraient être utilisés pour la caractérisation d'autres radionucléides, comme les descendants solides du radon par exemple.

Enfin, afin d'améliorer la connaissance relative aux niveaux d'activité très faibles en ^{129}I dans l'environnement, l'IRSN a développé une nouvelle méthode de mesure en adéquation avec les caractéristiques physico-chimiques de l'iode, notamment son extrême volatilité. Celle-ci est composée d'une extraction de l'iode de sa matrice, d'une purification permettant de concentrer l'échantillon et enfin d'une mesure par spectrométrie de masse. La limite de détection a pu être améliorée d'un facteur 10 (limite de détection de 6 mBq.L^{-1} en ^{129}I dans le lait, 2 mBq sur les filtres/charbons ou 11 mBq.L^{-1} dans les eaux douces). Cette méthode a pu être appliquée à une étude environnementale, permettant d'évaluer l'émission de l'iode 129 du compartiment marin vers le littoral par émission de gaz ou d'aérosol.

5. CONSEQUENCES SANITAIRES DES ESSAIS NUCLEAIRES

En raison de la quantité d'iode 131 libérée lors des essais nucléaires et de son absorption active par la thyroïde, le carcinome différencié de la thyroïde (CDT) constituait un risque sanitaire pour la population vivant à proximité des sites d'essais nucléaires. La question de savoir si les faibles doses de radioactivité dues aux retombées des essais nucléaires reçues au niveau de la thyroïde sont associées à un risque accru de CDT reste un sujet controversé en santé publique.

L'épidémiologie peut renseigner sur l'influence des essais nucléaires atmosphériques sur l'incidence des CDT en Polynésie Française. L'Institut Gustave Roussy (IGR) a ainsi mené une étude cas-témoins incluant 395 cas de CDT (diagnostiqués entre 1983 et 2016) et 555 témoins. Les auteurs ont effectué une reconstitution dosimétrique individuelle d'après les rapports de radioprotection de l'Armée et ont ajusté leurs résultats sur plusieurs facteurs (taille, indice de masse corporelle, catégorie socio-professionnelle, antécédents d'irradiation médicale, antécédents de pathologies thyroïdiennes, apport alimentaire en iode, nombre de grossesses).

Les résultats de cette étude n'ont pas mis en évidence d'association claire entre la dose de rayonnement à la thyroïde et le risque de CDT. Le risque vie entière pour l'ensemble de la population vivant à l'époque en Polynésie française a été estimé à 29 cas de CDT, soit 2,3% des cas spontanés attendus dans cette population (sur la base des modèles du BEIR VII). Par ailleurs, les auteurs ont identifié des particularités génétiques de la population polynésienne, associées à un risque accru de CDT. Ces éléments invitent à interpréter toute association statistique entre dose de rayonnement à la thyroïde et CDT avec prudence et recul.

6. GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE NUCLEAIRE

En cas d'accident majeur sur un réacteur électronucléaire, des isotopes radioactifs de l'iode sont susceptibles d'être rejetés en quantité très importante ($1,6 \cdot 10^{+17}$ Bq pour l'accident de Fukushima, $55 \cdot 10^{+17}$ Bq pour l'accident de Tchernobyl). Les rejets d'iodes radioactifs lors de l'accident de Tchernobyl en 1986 ont induit plusieurs milliers de cancer thyroïdiens pédiatriques³. L'accident, et ses conséquences sanitaires, ont durablement marqué l'opinion publique à l'échelle mondiale. Afin (entre autres) de répondre aux interrogations du public, l'IRSN, appuyé par plusieurs acteurs de la mesure de la radioactivité de l'environnement en France (dont les exploitants), a mis en œuvre une surveillance renforcée du territoire français à la suite de l'accident de Fukushima en mars et avril 2011 et à la demande de l'ASN. Ces mesures, en bonne cohérence avec les données issues de la modélisation, ont permis de montrer factuellement que les activités en ^{131}I mesurées en France sont restées très faibles, à des niveaux de 500 à plus de 1000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France après l'accident de Tchernobyl, et n'ont entraîné aucun impact sanitaire.

En cas d'accident majeur avec rejet massif d'iodes radioactifs, les mesures de mise à l'abri et de prise d'iode stable sont importantes et doivent être mises en œuvre en tenant compte des caractéristiques de la situation et des personnes exposées. Les conséquences peuvent être potentiellement significatives chez les enfants et les adolescents pour des doses à la thyroïde supérieures à 50 voire 100 mGy. La dose en Gy à la thyroïde dépend de l'activité cumulée, de la masse de la glande et de l'âge. La dose sera majorée chez des sujets carencés en iode stable.

En bloquant la fixation des iodes radioactifs par la thyroïde (phénomène de saturation), la prise d'iode stable doit permettre de prévenir la survenue de cancers de la thyroïde en particulier pour les populations les plus sensibles (enfants, adolescents voire jeunes adultes, femmes enceintes et allaitantes). En France, les comprimés d'iode stable quadrisécables à 65 mg sont fabriqués par la Pharmacie centrale des armées, prédistribués autour des installations nucléaires concernées et disponibles sur demande en pharmacie. Il convient de prendre l'iode stable 24 heures avant exposition et jusqu'à 6 heures après exposition uniquement sur ordre des Autorités (Préfet). Au Japon après l'accident de Fukushima, il est apparu nécessaire d'envisager la possibilité d'une prise répétée d'iode stable pour les personnes se trouvant dans une zone de rejets accidentels radioactifs prolongés ou répétés, dans l'attente d'une évacuation ou dans le cas d'une impossibilité à les évacuer. En situation de rejets d'iodes radioactifs répétés, le principe d'une prise réitérée d'iodure de potassium a été approuvé chez l'adulte par l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM) en 2020. Le projet de recherche PRIODAC (Prophylaxie répétée par l'iode stable en situation accidentelle), coordonné par l'IRSN, visait à déterminer les modalités d'administration répétée d'iode stable, l'objectif étant de s'assurer de l'efficacité et de l'innocuité de la nouvelle posologie pour les différentes catégories d'âge de la population (nourrissons, enfants, adulte, femmes enceintes et personnes âgées). Dans le cadre de ce projet, les premières expérimentations précliniques ont conclu à l'innocuité du nouveau schéma thérapeutique proposé.

En complément de l'ingestion d'iode stable, des mesures thyroïdiennes de l'iode 131, notamment à l'aide de spectromètres, sont également mises en œuvre. Ces mesures doivent prendre en compte dans la mesure du possible les caractéristiques morphologiques (volume thyroïdiens) des personnes. Ainsi chez l'enfant, l'étalonnage du spectromètre dépend du volume de la thyroïde et il est préférable d'utiliser des fantômes adaptés. Après l'accident de Fukushima, des détecteurs adaptés pour les très jeunes enfants ont ainsi été développés. De plus, il a été constaté qu'il est préférable d'éviter les mesures précoces pour améliorer les

³ Selon l'UNSCEAR, environ 25% des 19 233 cas de cancer de la thyroïde observés chez les personnes âgées de moins de 18 ans au moment de l'accident de Chernobyl seraient attribuables aux rejets d'iode.

résultats de la mesure. Pour des mesures dans les 48h après l'incorporation, la dose est surévaluée d'un facteur 1,25 à 2.

7. CONCLUSION

Au terme de ces deux journées consacrées à « l'iode dans tous ses états », il ressort que l'élément iode est présent partout dans l'environnement. Au niveau des isotopes radioactifs, certains d'entre eux sont susceptibles d'être rejetés par les installations nucléaires pour autant, l'iode radioactif est surtout connu pour son usage médical. Sa métrologie, son transfert et son impact sur l'homme et l'environnement sont gérés par des modèles opérationnels simplifiant les phénomènes complexes associés.

Dans un objectif d'amélioration continue, les exploitants nucléaires, les organismes de recherche et les régulateurs mènent des études et développent des outils pour mieux comprendre les processus en jeu, diminuer les incertitudes et améliorer les modèles en vue de mieux comprendre le devenir environnemental des iodes rejetés et donc mieux protéger le public. Il reste encore de nombreuses perspectives d'études, de points à améliorer et même des défis à relever.

Les journées ont rencontré un vif succès avec près de 170 inscrits et démontrent le rôle et l'importance des journées organisées par la SFRP dans la diffusion de l'information et le partage des connaissances. Elles s'inscrivent dans un cycle de journées organisées par la SFRP sur certains éléments : l'uranium, le radon et prochainement le tritium (Mars 2026). Elles ont également été l'occasion d'une collaboration renforcée entre les sections Environnement et Recherche et Santé afin d'aborder les différents aspects liés aux usages de l'iode et à ses impacts.
