

Prophylaxie par l'iode

Iodes radioactifs, thyroïde et cancer

A4.a

1. Des rejets d'iode très abondants

Parce qu'ils sont produits en abondance dans le cœur des réacteurs nucléaires et parce qu'ils sont particulièrement volatils, et donc mobiles, les isotopes radioactifs de l'iode se retrouvent en concentrations élevées dans les rejets radioactifs consécutifs à un accident nucléaire majeur. À Tchernobyl, comme à Fukushima Daiichi, les rejets d'iode étaient les plus élevés après les rejets de gaz rares (sachant que ces gaz inertes posent beaucoup moins de problèmes sanitaires).

Libéré dans l'atmosphère sous forme gazeuse, particulière, voire organique, l'iode peut être emporté sur des milliers et dizaines de milliers de km (l'iode gazeux est particulièrement mobile). Il est progressivement transféré au sol et aux parties aériennes des plantes : aussi bien lors des dépôts secs (car il se fixe aisément sur les surfaces) que des dépôts humides (car il se dissout sans difficulté dans l'eau).

Un mécanisme de translocation transfère rapidement les atomes radioactifs des surfaces foliaires à l'intérieur des cellules des végétaux, ce qui explique l'efficacité limitée du lavage. L'iode passe également très vite de l'herbe contaminée au lait des animaux qui la broutent (le délai est de quelques heures). Si la phase des retombées est courte, un pic de contamination survient en quelques jours ; si les rejets se prolongent dans le temps, le pic se transforme en plateau, avec des concentrations élevées qui peuvent se maintenir pendant plusieurs jours, semaines ou mois.

Les habitants des zones affectées vont d'abord inhaler l'iode radioactif présent dans l'air au niveau du sol, puis ingérer des aliments contaminés directement ou indirectement par les dépôts. La vulnérabilité des ressources en eau dépend de leur origine mais le risque est majeur en cas de récupération de l'eau de pluie contaminée. S'ajoutent également les incorporations involontaires, le plus souvent liées au contact des doigts avec les surfaces contaminées.

Plusieurs facteurs se conjuguent pour rendre la prise d'iode stable indispensable :

- les rejets d'iode radioactif sont abondants et facilement transférés aux êtres humains,
- la thyroïde ne sait pas le différencier cet iode radioactif de l'iode stable dont elle a besoin,
- la thyroïde est un organe très radiosensible, en particulier chez les enfants

Quelques rappels sur l'iode et ses isotopes

Le noyau d'un atome est composé de 2 types de nucléons : les protons et les neutrons. Chaque élément est caractérisé par le nombre de ses protons : 1 pour l'hydrogène ; **53 pour l'iode** dont le symbole est « I ». On appelle isotopes d'un élément, les atomes qui ont le même nombre de protons mais dont le nombre de neutrons diffère. La somme des protons et des neutrons donne le nombre de masse qui sert souvent à désigner l'isotope (ou le nucléide) : 127, par exemple, pour la seule forme stable de l'iode, celle que l'on trouve naturellement dans les aliments.

L'iode 127 (noté ¹²⁷I) a ainsi un noyau composé de 127 nucléons : 53 protons et 74 neutrons. Tous les autres isotopes sont instables, c'est-à-dire radioactifs (d'où leur nom de radio-isotopes ou de radionucléides). Parmi les 19 radio-isotopes de l'iode issus de la fission, les plus importants sont :

Radioisotopes (I)	Période radioactive
Iode 129 ¹²⁹ I	15,7 millions d'années
Iode 131 ¹³¹ I	8,04 jours
Iode 132 ¹³² I	2,3 heures (¹³² Te : 3,2 j.)
Iode 133 ¹³³ I	20,8 heures
Iode 134 ¹³⁴ I	52,5 minutes
Iode 135 ¹³⁵ I	6,6 heures

Tous les isotopes, stables ou radioactifs, d'un même élément ont les mêmes propriétés chimiques : l'iode est ainsi un halogène, très volatil, et tous ses isotopes sont captés de la même façon par la thyroïde.

Chaque radio-isotope a des propriétés nucléaires différentes : il est caractérisé par sa période radioactive (temps nécessaire pour que l'activité soit divisée par 2) : 8 jours pour l'iode 131, près de 16 millions d'années pour l'iode 129 ; lors de sa désintégration, il émet des radiations dont l'énergie et l'intensité est également caractéristique.

NB : l'iode 132 a une période de 2,28 h mais il est produit par la désintégration du tellure 132. Son activité évoluera donc en fonction de la période de son générateur qui est de 3,2 jours.

2. De l'iode radioactif qui se concentre dans la thyroïde

Le corps est incapable de distinguer l'iode radioactif, qui est capable de tuer les cellules qu'il irradie ou d'y générer des processus cancérigènes, de l'iode stable qui est essentiel à son bon fonctionnement.

L'iode stable est un oligo-élément indispensable à l'élaboration des hormones thyroïdiennes iodées qui régulent le métabolisme de base de l'organisme : la tri-iodothyronine et la thyroxine. Ces hormones sont aussi dénommées T3 et T4 d'après le nombre d'atomes d'iode qu'elles contiennent. Les besoins journaliers sont d'environ 150 µg pour un adulte. Ils sont accrus pendant la grossesse et l'allaitement (≈ 200 µg/j). Une carence prolongée peut être à l'origine d'un goitre, la thyroïde augmentant de volume pour tenter de compenser le déficit d'iode. Chez le fœtus ou le nourrisson, les hormones jouent un rôle essentiel dans la maturation du système nerveux, l'ossification et la croissance des os longs. Une hypothyroïdie non traitée pourra être lourde de conséquences.

Les hormones T3 et T4 sont synthétisées et stockées dans la thyroïde ce qui explique que l'iode incorporé se concentre dans cette petite glande : elle contient 90% de tout l'iode présent dans l'organisme. Si l'iode est radioactif, le mécanisme est le même, entraînant une irradiation intense de cet organe.

NB : le mécanisme de transport actif qui équipe les cellules thyroïdiennes et leur permet de concentrer l'iode présent dans le sang se retrouve aussi dans les glandes salivaires, les glandes mammaires et le placenta (d'où le transfert de l'iode radioactif dans la salive, le lait maternel et vers le fœtus avec les risques associés).

Désintégrations, rayonnements et lésions à l'intérieur des cellules

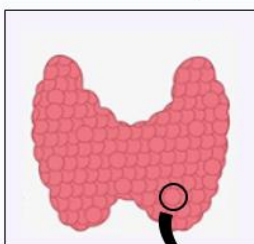
Lorsqu'elles proviennent de la **fission**, les formes radioactives de l'iode sont instables du fait d'un **excès de neutrons**. Le noyau des atomes va donc se désintégrer par transformation d'un neutron en proton (désintégration en mode bêta). Elle s'accompagne de l'éjection d'un électron (dite particule **bêta**), généralement suivie de l'émission d'un rayonnement électromagnétique de désexcitation (dit **gamma**).

À l'intérieur de la thyroïde, les isotopes radioactifs de l'iode se désintègrent donc en émettant des **radiations β et γ**. Les rayonnements bêta libèrent pratiquement toute leur énergie à l'intérieur des follicules thyroïdiens ; les rayonnements gamma, plus pénétrants, peuvent aussi affecter d'autres organes ou se dissiper à l'extérieur de l'organisme. À noter que d'autres radionucléides émetteurs de radiations γ (césium 134 et 137 par exemple), situés dans d'autres organes, pourront également contribuer, mais à des niveaux très inférieurs, à l'irradiation de la glande thyroïde.

✚ **En médecine**, la nocivité des radiations β de l'iode 131 est recherchée dans le traitement des patients opérés d'un cancer de la thyroïde : ce radionucléide est administré à forte dose pour détruire les cellules thyroïdiennes et cancéreuses qui peuvent subsister après l'ablation de la glande et prévenir ainsi la récurrence. Les radiations endommagent les cellules qui meurent au bout de quelques semaines ou de quelques mois.

✚ **En cas d'accident**, une contamination à forte dose détruira un très grand nombre de cellules et pourra altérer le fonctionnement même de la thyroïde ; à faible ou très faible dose, le risque provient surtout des cellules lésées qui survivent à l'irradiation et peuvent initier ou promouvoir un cancer.

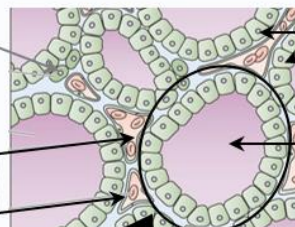
La thyroïde est une petite glande, composée de 2 lobes réunis par un isthme, qui se situe à la base du cou. Chez le nouveau-né, elle ne pèse que 1,3 g, environ 8 g chez un enfant de 10 ans et autour de 20 g chez l'adulte.



Elle est formée de petites unités sphériques, les **follicules thyroïdiens**, constitués chacun d'une couche de cellules épithéliales, les **thyrocytes**, qui enveloppe une cavité centrale remplie d'une substance visqueuse : le colloïde.

Cellule C qui sécrète une hormone non iodée, la calcitonine

Capillaires sanguins



Thyrocytes qui captent l'iode circulant dans le sang et sécrètent les **hormones iodées T3 et T4**.

Lumière du follicule qui contient le colloïde où sont stockées les hormones (pendant plusieurs semaines ou mois).

Un mécanisme de transport actif permet aux thyrocytes de capter et concentrer l'iode qui circule dans le sang. Une fois oxydé, il est intégré à une grosse molécule (la thyroglobuline) pour former les hormones T3 et T4. Cette phase d'organification se déroule dans le colloïde où les hormones sont stockées en attendant d'être sécrétées dans le sang en fonction des besoins de l'organisme.

3. Une irradiation qui provoque des cancers, en particulier chez les enfants

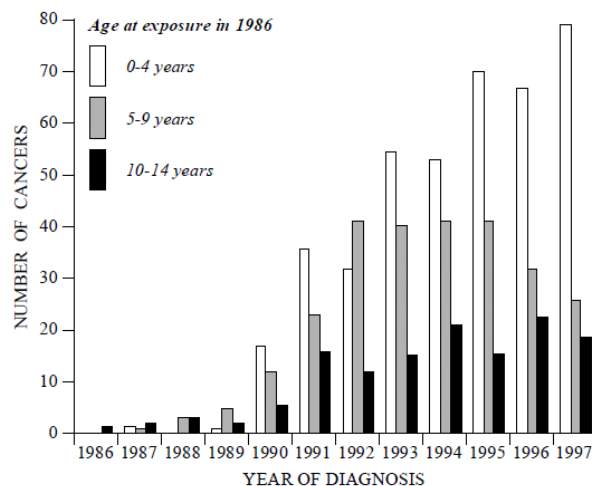
Dix jours durant, les quantités de radioactivité libérées par la centrale nucléaire de Tchernobyl ont été colossales. Les rejets d'iodes radioactifs ont été particulièrement abondants¹, provoquant une véritable épidémie de cancer. Elle a fortement touché les sujets exposés pendant l'enfance et in utero.

Avant la catastrophe, le cancer de la thyroïde était très rare chez les enfants : moins de 1 cas sur 1 million. Dans les régions les plus contaminées, l'incidence a été multipliée par plus de 100. Le graphique ci-contre est extrait d'un rapport de l'UNSCEAR². Il présente le nombre de cancers de la thyroïde diagnostiqués en Biélorussie parmi les enfants qui avaient moins de 15 ans au moment de l'accident de Tchernobyl. Il rend compte de l'augmentation de l'incidence et met en lumière la vulnérabilité particulière des plus jeunes enfants.

Plusieurs facteurs expliquent l'importance des risques sanitaires auxquels sont exposés les enfants :

1/ pour une même quantité d'iode radioactif incorporé, leur thyroïde reçoit une dose de rayonnement supérieure car sa masse est plus petite : 1,3 g à la naissance contre 20 g à l'âge adulte. Rappelons en effet que la dose correspond à la quantité d'énergie délivrée par unité de masse. Le graphique ci-dessous montre qu'un seul becquerel (Bq) d'iode 131 délivre 0,18 µSv à la thyroïde d'un adulte mais 8 fois plus à celle d'un enfant de moins de 2 ans (les coefficients de dose utilisés sont ceux de la CIPR, repris dans les réglementations européenne et suisse).

2/ les enfants consomment généralement des quantités importantes de lait, un aliment qui concentre particuliè-



rement l'iode radioactif (ce radionucléide passe aussi très facilement dans le lait maternel et dans le placenta) ;

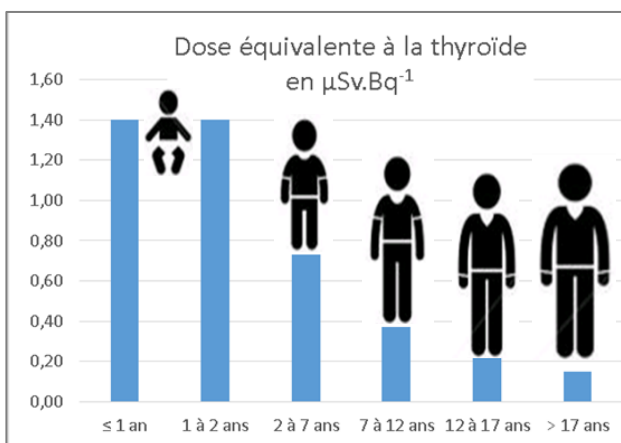
3/ pour une même dose reçue, les enfants et les fœtus encourrent un risque sanitaire supérieur car leur organisme contient, du fait de sa croissance, un plus grand nombre de cellules en voie de division, c'est-à-dire de cellules très sensibles à l'induction d'un cancer ;

4/ du fait du grand nombre d'années restant à vivre, le cancer a aussi plus de temps pour se manifester. Certains cancers peuvent se déclarer quelques années après l'exposition mais le temps de latence peut en effet se compter en décennies. En 2018, une publication de l'UNSCEAR recensait 19 233 cas de cancer parmi les enfants exposés avant 16 ans pour la période 1991-2015 (pour l'Ukraine, la Biélorussie et l'extrémité ouest de la Russie). Il faudra encore des décennies avant de pouvoir établir un bilan.

Il faut également souligner que les cancers de la thyroïde qui affectent les enfants sont **très agressifs**, avec des métastases dans les ganglions lymphatiques (55% des cas) et les poumons (11,6%). Ils nécessitent un suivi attentif, voire des opérations répétées, à cause d'un risque de récurrence élevé (1/3 des cas selon certains auteurs).

Des rapports officiels présentent le cancer de la thyroïde comme un cancer bénin, au faible taux de mortalité. Outre le fait que tous les patients n'y survivent pas, c'est oublier que l'ablation de la glande thyroïde oblige à prendre, à vie, un traitement hormonal de substitution (à base de lévothyroxine) avec toutes les difficultés de dosage associées, et parfois d'accès aux médicaments.

La réalité de l'épidémie a longtemps été niée par les organismes de référence, et notamment l'AIEA (Agence

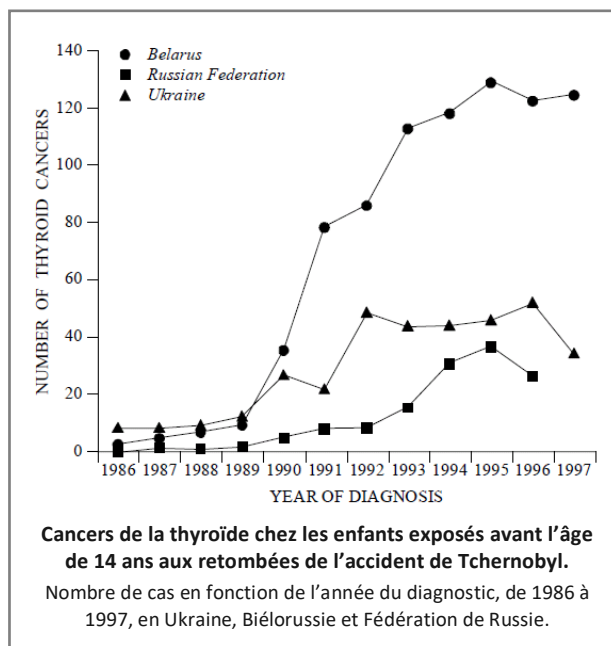


¹ Pour l'iode 131, le chiffre couramment retenu est de 1 760 PBq (rejet de 50 à 60 % de l'inventaire du cœur du réacteur). Certaines sources donnent des estimations plus élevées (jusqu'à 3 200 PBq pour l'iode 131). 1 PBq = 10¹⁵ Bq = 1 million de milliards de Bq.

² L'UNSCEAR est le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants. Références : "Sources and effects of ionizing radiation". Rapport à l'Assemblée générale de 2000, vol. II, annexe J.

Internationale de l'Énergie Atomique). Se basant sur les enseignements tirés du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, les experts considéraient que les cancers se déclaraient beaucoup trop tôt. De plus, trop confiants dans des études épidémiologiques qui ne montraient pas d'effets chez les enfants en cas d'exposition interne (mais qui n'avaient pas une puissance statistique suffisante), ils considéraient que l'incorporation d'iode 131 ne pouvait pas avoir un tel impact. Étaient alors mis en avant les effets du dépistage (on cherche plus, donc on trouve plus), des erreurs de diagnostics, et parfois même des doutes sur l'honnêteté des médecins ukrainiens et biélorusses. En dépit de l'engagement de personnalités comme le Pr Baverstock, l'AIEA mettra des années avant de reconnaître un lien de causalité entre l'augmentation de l'incidence des cancers de la thyroïde et l'exposition à l'iode radioactif.

Cette augmentation a été documentée jusqu'à **500 km** du lieu de l'accident. Certains travaux suggèrent même un impact à plus de **2 000 km**. La carte ci-dessous est extraite d'un rapport de l'UNSCEAR. Elle présente l'estimation des doses équivalentes à la thyroïde reçues, en 1986, par les moins de 18 ans du fait de l'accident de Tchernobyl. Des indications de distances ont été ajoutées par la CRIIRAD pour souligner l'étendue des zones à risque. Si l'on excepte les secteurs de Minsk et de Kaluga, toutes les zones dépassent en effet le seuil d'intervention de 10 mGy retenu par



l'Organisation Mondiale de la Santé pour protéger les groupes à risque (enfants, femmes enceintes ou qui allaitent).

En savoir plus : fonctionnement et mise en œuvre de la prophylaxie à l'iode stable / fiche A4.b

Estimation des doses moyennes à la thyroïde pour les enfants et les adolescents vivant au moment de l'accident dans les zones les plus affectées de la Biélorussie, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine.

Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR, Rapport 2008 à l'Assemblée générale, Vol. II, Annexe D.

1 Gray (Gy) = 1 000 mGy
Dans ce contexte. 1 mGy = 1 mSv

Des doses moyennes comprises entre 150 et 650 mGy ont été mesurées jusqu'à 300 km de la centrale.

Des doses moyennes comprises entre 30 et 150 mGy jusqu'à 600 km.

Des doses moyennes supérieures à 10 mGy mesurées à des distances très supérieures.

