

## Approche documentaire : Utilisation médicale des radionucléides

Les radionucléides, contraction de radioactivité et de nucléide, sont des atomes dont le noyau est instable et est donc radioactif. Cette instabilité peut être due à un excès de protons, de neutrons, voire des deux. Les radionucléides existent naturellement mais peuvent aussi être produits artificiellement par une réaction nucléaire.

Lors d'une catastrophe nucléaire (telle que la catastrophe de Tchernobyl) ou lors d'une explosion atomique (telle qu'un essai nucléaire), une grande quantité de radionucléides sont propulsés dans l'atmosphère, se propagent autour du globe terrestre, et retombent plus ou moins rapidement sur le sol.

### I - Utilisation des radionucléides

Depuis la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, un nombre croissant de radionucléides est produit dans le monde pour la médecine et divers usages techniques (traçage isotopique, etc.)

#### 1) En médecine nucléaire

Les radionucléides sont largement utilisés à des fins de diagnostic ou de recherche. Les radionucléides présents naturellement ou introduits dans le corps, émettent des rayons gamma et, après détection et traitement des résultats, fournissent des informations sur l'anatomie de la personne et sur le fonctionnement de certains organes spécifiques. Lorsqu'ils sont utilisés ainsi, les radionucléides sont appelés traceurs.

La radiothérapie utilise aussi des radionucléides dans le traitement de certaines maladies comme le cancer. Des sources puissantes de rayons gamma sont aussi utilisées pour stériliser le matériel médical. Dans les pays occidentaux, environ une personne sur deux est susceptible de bénéficier de la médecine nucléaire au cours de sa vie, et la stérilisation par irradiation gamma est quasiment universellement utilisée.

#### 2) Dans l'industrie

Les radionucléides peuvent être utilisés pour examiner les soudures, détecter les fuites, étudier la fatigue des métaux et analyser des matériaux ou des minéraux. Ils sont aussi utilisés pour suivre et analyser les polluants, étudier les mouvements des eaux de surface, mesurer l'écoulement de la pluie et de la neige, ainsi que le débit des cours d'eaux.

#### 3) Dans l'environnement

On trouve aujourd'hui dans l'environnement et la biosphère des radionucléides naturels et artificiels, principalement issus des mines d'uranium, de la combustion de certains combustibles fossiles, de déchets industriels de la médecine nucléaire, mais surtout des retombées des armes nucléaires et essais nucléaires (dans les années 1950 et 1960), de l'industrie nucléaire, et du retraitement des déchets radioactifs ou des accidents nucléaires. Ils peuvent poser des problèmes, parfois sérieux et durables de contamination de l'air, de l'eau, du sol ou des écosystèmes.

## II - Des radionucléides au service du diagnostic médical

### 1) Activité d'un échantillon radioactif

L'activité  $A(t)$  d'une substance radioactive mesure le nombre moyen de désintégrations par unité de temps.

Elle s'exprime en Becquerel (symbole Bq) où 1 Bq correspond à 1 désintégration par seconde.

L'activité  $A(t)$  est reliée au nombre de noyaux de l'échantillon  $N(t)$  par la relation :

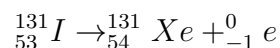
$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t)$$

où  $\lambda$  est la constante radioactive, s'exprimant en  $s^{-1}$ .

### 2) Un examen médical, la scintigraphie thyroïdienne - Utilisation de traceurs radioactifs

La thyroïde est une glande dont la fonction principale est la sécrétion des hormones thyroïdiennes à partir de l'iode alimentaire. Elle n'est normalement pas palpable, mais elle peut s'hypertrophier avec la formation de nodules, fixant l'iode d'une manière différente du reste de la thyroïde. La scintigraphie thyroïdienne est un examen médical permettant de déceler une hypertrophie de la thyroïde. Lors d'une scintigraphie, une image de l'organe étudié est reconstituée.

Pour effectuer une scintigraphie, on utilise des traceurs radioactifs, injectés dans le corps du patient. Les radionucléides utilisés sont les suivants : technétium 99, iode 131, ou iode 123. L'iode 123 émet un rayonnement gamma, l'iode 131 émet des électrons très énergétiques, des rayons gamma, et bêta ; il est donc lui aussi émetteur gamma. Les rayons gamma peuvent être détectés par un appareil de mesure appelé "détecteur à scintillations", celui-ci reconstitue une image de l'organe à partir des rayonnements émis. On donne ci-dessous l'équation de réaction de désintégration de l'iode 131 :



L'émission de rayons gamma vient de la désexcitation du noyau de xénon formé. L'iode 123 émet un rayonnement gamma de l'ordre de la centaine de keV<sup>1</sup>, très favorable à la détection, et à temps de demi-vie (ou période radioactive) court, de 13 heures. Il sera donc privilégié pour l'imagerie, malgré son coût élevé. La période de l'iode 131 de 8 jours et l'émission bêta le rendent très favorable à une utilisation thérapeutique. Son rayonnement gamma très énergétique (plusieurs centaines de keV) fait que l'on peut le choisir pour certaines applications d'imagerie, pour certains organes dont le métabolisme est lent.

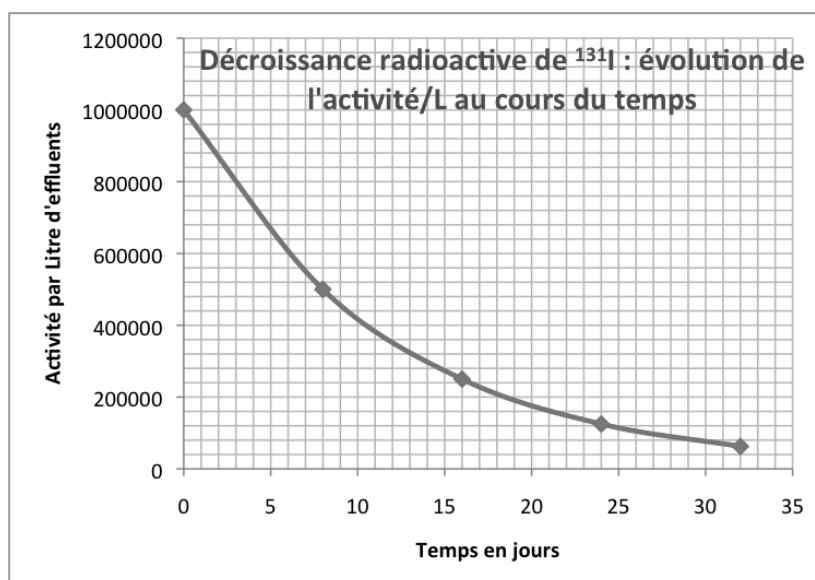
${}^{131}\text{I}$	${}^{123}\text{I}$	${}^{99}\text{Tc}$
$\lambda = 1,023 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	$\lambda = 1,459 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	$\lambda = 3,21 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

FIGURE 1 – Constantes radioactives de quelques traceurs radioactifs

1. kiloélectronvolt

### 3) Déchets hospitaliers radioactifs

Une grande partie de l'activité administrée est éliminée par les voies naturelles durant les heures ou les premiers jours (parfois les semaines) suivant l'administration des substances radioactives. On estime par exemple qu'environ 84% de l'iode 131 sont éliminés via les urines des 5 premiers jours. Une partie seulement de ces effluents est collectée de manière spécifique au niveau de l'hôpital. C'est le cas par exemple pendant la phase de confinement en chambre dite plombée pour les patients qui subissent une thérapie qui met en jeu plusieurs centaines de MBq d'iode 131. Dans ce cas, les effluents sont mis en attente avant rejet dans des cuves de décroissance. Sachant que la période radioactive est le temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs se sont désintégrés, un liquide (des urines de patient) dont le niveau de contamination en iode 131 est de 1 million de Bq/L aura ainsi une radioactivité résiduelle de 500 000 Bq/L au bout de 8 jours, 250 000 Bq/L au bout de 16 jours (2 périodes) et 5 000 Bq/L au bout de 2 mois (7,5 périodes).



#### Questions

1. Montrer à l'aide de deux méthodes que les données expérimentales (figure ci-dessus) sont en accord avec une loi cinétique d'ordre 1 pour la réaction de désintégration des traceurs radioactifs.
2. Dégager les avantages liés à l'utilisation de l'iode 123 par rapport à l'iode 131 du point de vue du patient concerné par une scintigraphie thyroïdienne, et du point de vue de la gestion des déchets par l'hôpital. On s'appuiera sur des développements numériques pour argumenter la réponse (en calculant par exemple un temps caractéristique au bout duquel l'activité résiduelle est négligeable).