

UTILISATION ET STOCKAGE DE RADIONUCLÉIDES EN MILIEU HOSPITALIER

TRAVAIL DEMANDÉ

- 1) Relier les modes de désintégration du technétium 99, de l'iode 123 et de l'iode 131 à leur position par rapport à la vallée de stabilité des noyaux. Écrire l'équation de leur réaction de désintégration.
- 2) À partir de données extraites des documents, montrer de différentes manières que la désintégration des radionucléides suit une cinétique d'ordre 1.
- 3) Comparer les avantages et les inconvénients liés à l'utilisation de l'iode 123 ou bien de l'iode 131 du point de vue du patient concerné par une anomalie thyroïdienne et du point de vue de la gestion des déchets par l'hôpital. On s'appuiera sur des développements numériques pour argumenter les réponses.

DOCUMENTS

Document 1 : Les rayonnements émis par les noyaux

Carte interactive des modes de radioactivité :

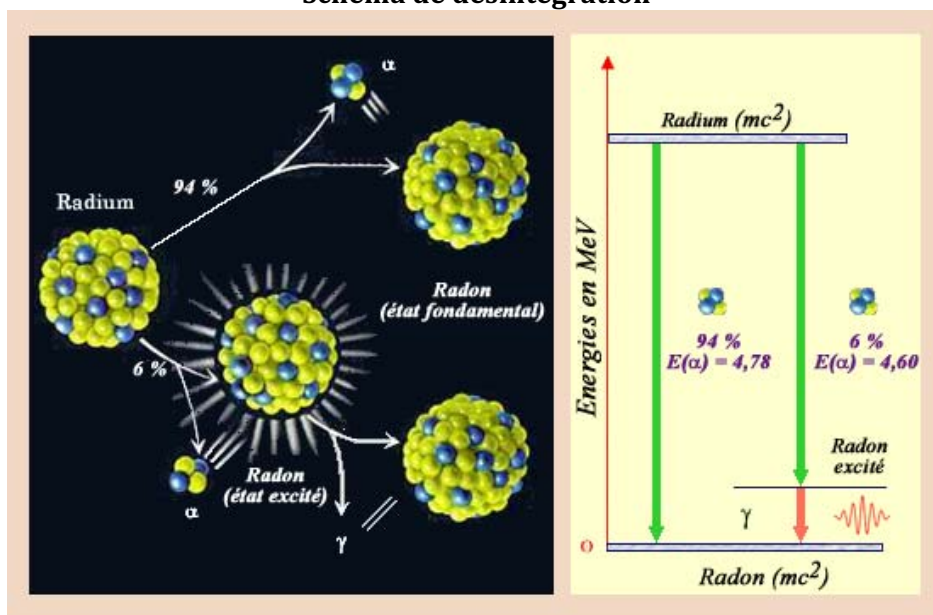
http://www.ostralo.net/3_animations/swf/diagrammeNZ_1.swf

La carte des noyaux interactive, consultable à l'adresse ci-dessus, est coloriée en fonction des modes de désintégration. Les noyaux stables, situés au fond de la vallée de stabilité, sont en rouge. Les *émetteurs bêta* sont situés de part et d'autre de cette courbe : les bêta-moins du côté excédentaire en neutrons (en bleu), les bêta-plus du côté excédentaire en protons (en jaune). Certains noyaux dans la zone jaune peuvent également donner lieu à une capture électronique. La ligne de stabilité se prolonge à droite par une zone où dominent les émetteurs alpha (en vert). On remarque quelques noyaux très lourds qui subissent des fissions spontanées (en violet) et, très loin de la ligne de stabilité, une poignée de noyaux émetteurs de protons (en orange) ou de neutrons (en bleu clair).

L'habitude d'appeler rayons **alpha, bêta et gamma** les noyaux d'hélium, les électrons ou les photons émis lors de désintégrations radioactives remonte à l'époque de la découverte. Nourris de culture classique, les physiciens étaient alors férus de grec et de latin.

L'appellation est demeurée. La découverte de « rayons » d'origine inconnue émis par des sels d'uranium faisait suite en 1896 à celles d'autres rayons dont on n'avait pas encore élucidé la nature : les rayons X et les rayons cathodiques. Il faudra longtemps pour comprendre l'origine des uns et des autres.

Schéma de désintégration



Ce noyau de radium-226, le radium de Marie Curie, se désintègre directement dans 94 % des cas en un noyau de radon en émettant une particule alpha. Dans 6 % des cas cependant, l'émission de la particule alpha laisse le noyau de radon dans un état excité. Très rapidement, le noyau excité se débarrasse de son énergie en excédent, en émettant un rayon gamma. L'habitude est de représenter les divers modes de désintégration d'un noyau au moyen de schémas de désintégration, comme celui représenté à droite de la figure. La radioactivité gamma accompagne généralement les transformations du noyau.

Les désintégrations alpha, bêta, et gamma font intervenir les forces fortes, faibles et électromagnétiques présentes dans le noyau : le noyau évolue vers un état plus stable en émettant un rayonnement. Les deux principales causes d'instabilité sont un trop grand nombre de nucléons ou un déséquilibre entre les nombres de protons et de neutrons.

Dans le premier cas de la **radioactivité alpha**, le noyau recherche la stabilité en émettant un noyau d'hélium ou particule alpha. Dans le second cas, un neutron se transforme en un proton (ou l'inverse), avec émission d'un électron (ou un positon), c'est la **radioactivité bêta**. La transformation d'un proton en neutron peut aussi avoir lieu par un phénomène, plus rare, de **capture électronique** par le noyau.

La radioactivité **gamma** est une simple désexcitation du noyau, de même nature que l'émission de lumière ou de rayons X par les atomes. Les désintégrations gamma sont généralement instantanées et suivent de très près l'émission de particules alpha ou bêta. En effet, ces émissions laissent presque toujours le noyau dans un état excité.

Les désintégrations alpha et bêta ont en général du mal à se produire. Les durées de vie des noyaux radioactifs sont longues pour les horloges de l'infiniment petit. Elles peuvent l'être aussi pour nous. Certains éléments radioactifs naturels comme l'uranium ou le thorium ont des durées de vie de quelques milliards d'années.

Ces émissions changent la composition du noyau, donc la nature de l'atome. La radioactivité ne transforme pas le plomb en or, mais elle transmute la matière comme le font les autres réactions nucléaires.

Document 2 : 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 :

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

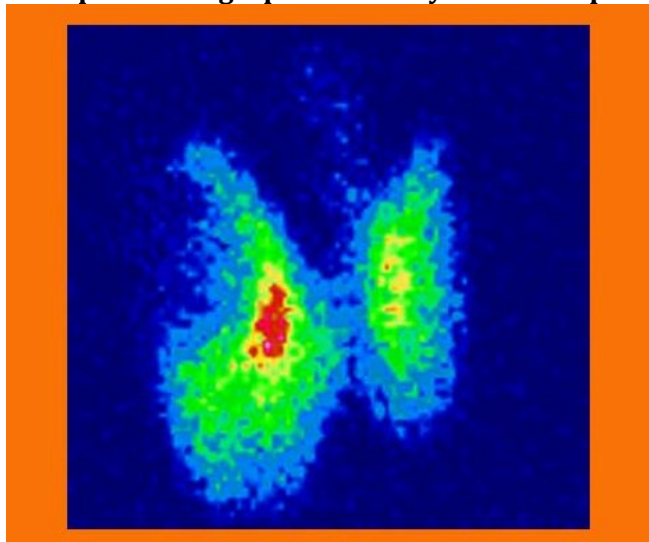
λ est la constante radioactive, elle s'exprime en s^{-1} .

Document 3 : Un examen médical, la scintigraphie thyroïdienne

La thyroïde est une glande, située dans la région cervicale antérieure, appliquée contre le larynx et la partie supérieure de la trachée. La fonction principale de cette glande est la sécrétion des hormones thyroïdiennes à partir de l'iode alimentaire qui se fixe temporairement sur cette glande. De petite taille, pesant 15 à 25 g chez l'adulte et mesurant environ 4 cm en largeur et 3 cm en hauteur, elle n'est normalement pas, ou à peine, palpable. Mais elle peut s'hypertrophier, soit de manière plus ou moins diffuse et homogène, soit de manière localisée avec la formation de nodule(s). Ces nodules peuvent principalement être de deux sortes : hypofixant ou hyperfixant. Ils sont dits hypofixants s'ils fixent peu d'iode par rapport au reste de la thyroïde. Inversement, ils sont dits hyperfixants s'ils fixent plus d'iode que le reste de la thyroïde.

La scintigraphie thyroïdienne est une technique d'exploration physiologique, elle constitue un examen complémentaire à l'exploration anatomique par échographie par exemple. Cet examen permet de détecter des nodules de la thyroïde. Lors d'une scintigraphie, une image de l'organe étudié est reconstituée.

Image obtenue après scintigraphie de la thyroïde d'un patient malade :



Document 4 : Utilisation de traceurs radioactifs

Pour effectuer une scintigraphie, on utilise des traceurs radioactifs, injectés dans le corps du patient. Les radionucléides utilisés sont les suivants : technétium 99m, 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, très favorable à la détection, et a une demi-vie (ou période radioactive) courte, de 13 heures. Il sera donc privilégié pour l'imagerie, malgré son coût élevé, lié à sa production par cyclotron. La période de l'iode 131 de 8 jours et l'émission bêta le rendent très favorable à une utilisation thérapeutique, en plus de son intérêt en imagerie. 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 (la glande surrénale, par exemple).

Notons que le technétium 99m est un isomère excité du technétium 99, en lequel il se transforme avec uniquement émission de rayons gamma.

^{131}I	^{123}I	^{99}Tc	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
$\lambda_{131} = 1,003 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$	$\lambda_{123} = 1,459 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	$\lambda_{99} = 1,04 \times 10^{-13} \text{ s}^{-1}$	$\lambda_{99\text{m}} = 3,206 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

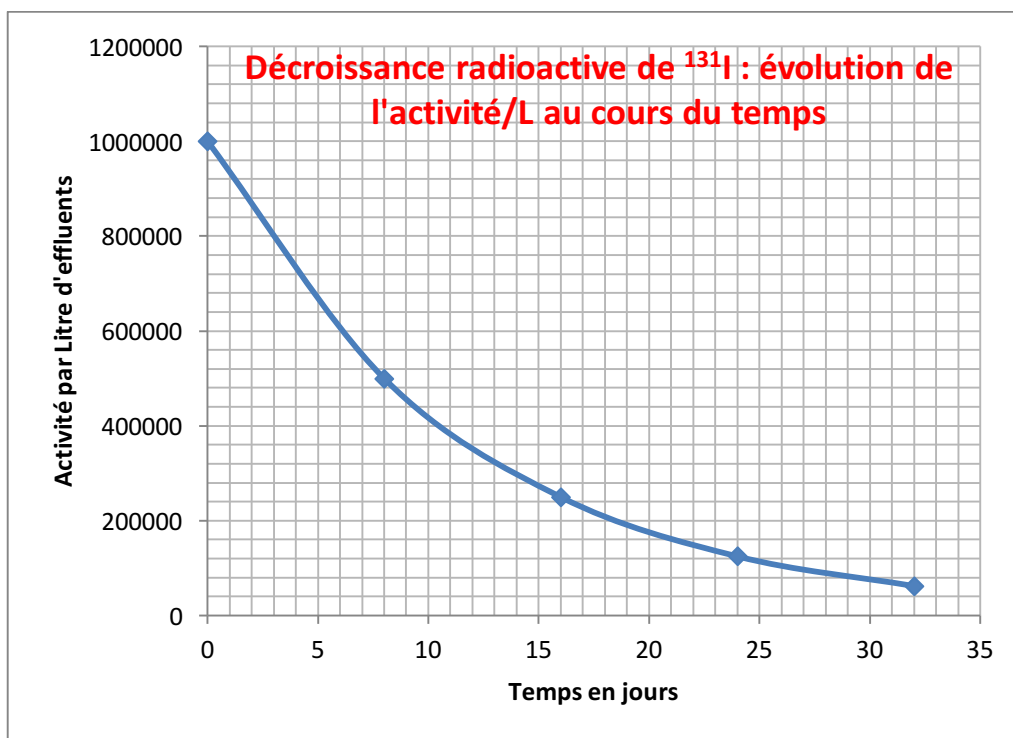
Constantes radioactives de quelques traceurs radioactifs

Mode opératoire et lecture d'une scintigraphie de la thyroïde :

On injecte par exemple au patient, une dose de ^{131}I , d'activité $A = 7 \text{ MBq}$, contenu dans une solution d'iodure de sodium NaI où l'iode est le traceur radioactif. On laisse alors l'iode se fixer sur la thyroïde pendant quelques heures, puis on réalise la scintigraphie. L'image obtenue présente des zones foncées représentant les zones de l'organe fortement émettrices en rayons gamma.

Document 5 : 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 125 000 Bq/L au bout de 24 jours (3 périodes).



À titre indicatif, l'arrêté du 30 octobre 1981 prévoit que « l'évacuation des cuves de stockage des effluents liquides ne peut intervenir que si l'activité volumique est inférieure à 7 becquerels par litre ». La question est alors celle de la capacité de stockage des cuves de l'hôpital.