

Activité 3 : évolution du nombre de noyaux radioactifs en fonction du temps

Document 1 : modélisation du nombre de noyaux radioactifs au cours du temps.

Un noyau instable est radioactif : la désintégration d'un noyau atomique (appelé noyau père) en un autre noyau (appelé noyau fils) est aléatoire. Elle se produit à un moment imprévisible et indépendant des autres noyaux.

On peut donc établir une similitude avec le caractère aléatoire d'un lancer de dés.

Modélisation :

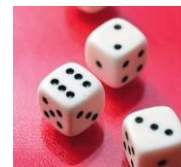
Soit une population de noyaux radioactifs ; chaque noyau est modélisé par un dé.

On effectue un lancer de dés toutes les x minutes.

Chaque fois qu'un dé tombe sur la face « 6 », ils sont retirés du jeu car les noyaux qu'ils représentent se sont désintégrés.

Les lancers continuent à intervalles de temps réguliers et l'on compte à chaque fois le nombre de noyaux restants, cela jusqu'à épuisement du nombre de dés.

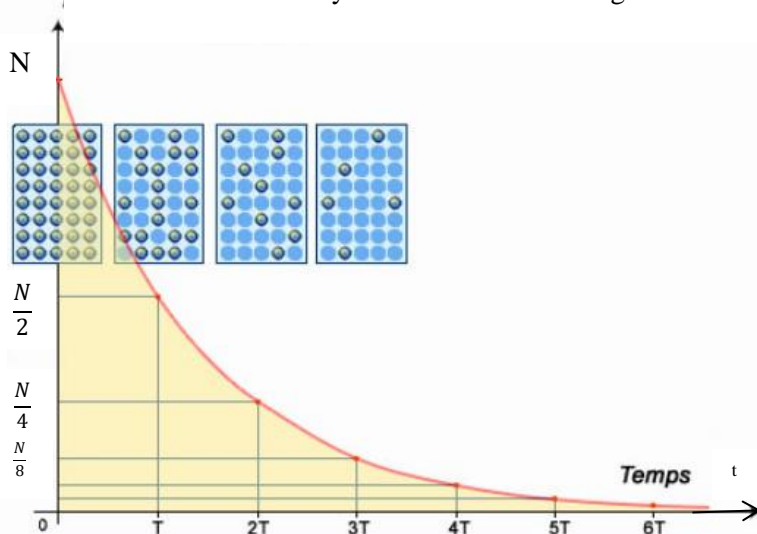
L'évolution du nombre de dés au cours du temps est similaire à celle des noyaux radioactifs.



Document 2 : loi de décroissance radioactive.

La désintégration d'un seul noyau radioactif est **aléatoire** mais sur une grande population de noyaux, la désintégration de ces N noyaux suit une **loi statistique**.

Nombre de noyaux radioactifs désintégrés au cours du temps



Document 3 : la radioactivité au service de la médecine.

La scintigraphie est une technique d'imagerie médicale qui utilise des composés radioactifs, appelés « traceurs ».

Le patient absorbe une quantité très faible d'un élément radioactif qui a la propriété de se fixer sur un organe particulier. Une fois à l'intérieur du corps, l'élément radioactif va émettre un rayonnement qui va alors être capté par une gamma-caméra.

Enfin l'électronique et l'informatique permettent la reconstitution de l'image de l'organe concerné.

Questions :

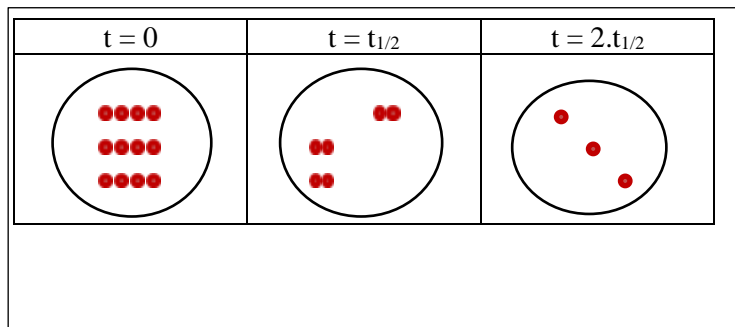
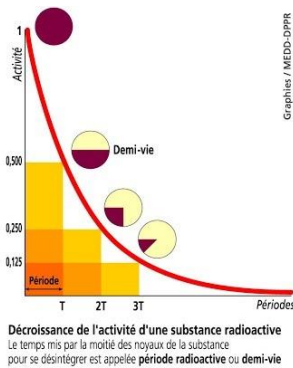
1/ La demi-vie est représentée par la lettre T dans le document 2. Elle peut aussi se noter $t_{1/2}$.

Comment définiriez-vous la demi-vie d'un noyau radioactif ?

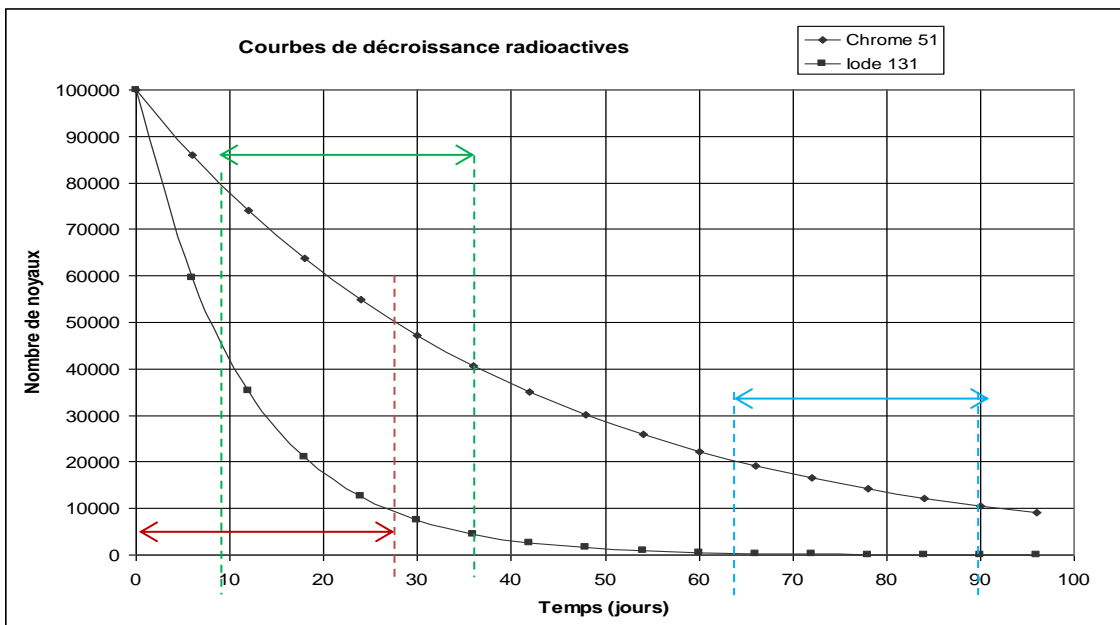
La **demi-vie radioactive** (ou **période radioactive**) est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présent s'est désintégrée.

Nous la noterons $t_{1/2}$.

Sa valeur est indépendante du nombre de noyaux initialement présents et est propre à chaque type de noyaux radioactifs (cf q°2).



2/ On a représenté la courbe de décroissance radioactive pour deux éléments radioactifs différents : le chrome 51 ($^{51}_{24}\text{Cr}$) et l'iode 131 ($^{131}_{53}\text{I}$).



a) Pour le chrome 51, déterminer graphiquement :

- la durée nécessaire pour passer de 100 000 à 50 000 noyaux (constructions nécessaires en rouge) 28 j
- la durée nécessaire pour passer de 80 000 à 40 000 noyaux (constructions nécessaires en vert) 28 j
- la durée nécessaire pour passer de 20 000 à 10 000 noyaux (constructions nécessaires en bleu) 28 j

Conclusion : la demi-vie est indépendante du nombre initial de noyaux contenu dans l'échantillon.

b) -Considérons l'iode 131, déterminer graphiquement sa demi-vie : $t_{1/2} = 8$ jours

-Comparer la stabilité de $^{51}_{24}\text{Cr}$ et de $^{131}_{53}\text{I}$: la durée de vie de ^{131}I est inférieure à celle de ^{51}Cr donc le noyau d'iode est – stable.

c) Enoncer la conclusion mettant en évidence la caractéristique de la demi-vie.

La demi-vie est caractéristique d'un noyau et ne dépend pas du nombre de noyaux initialement présents. Sa valeur dépend uniquement du type de noyau.

d) Au bout de combien de demi-vies, N_0 est-il divisé par 8 ?

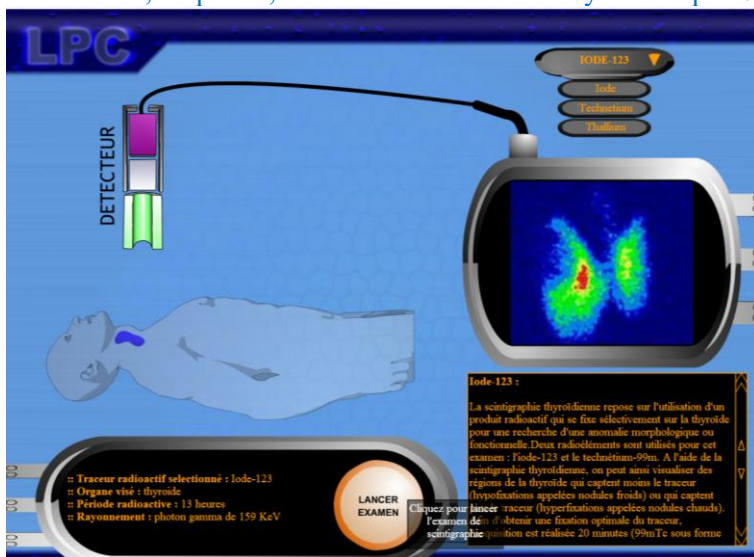
$N_0 \rightarrow N_0/2 \rightarrow N_0/4 \rightarrow N_0/8$ ce qui donne 3 $t_{1/2}$; il reste alors 1 huitième de N_0 soit environ 12,5 % de l'ensemble des noyaux radioactifs.

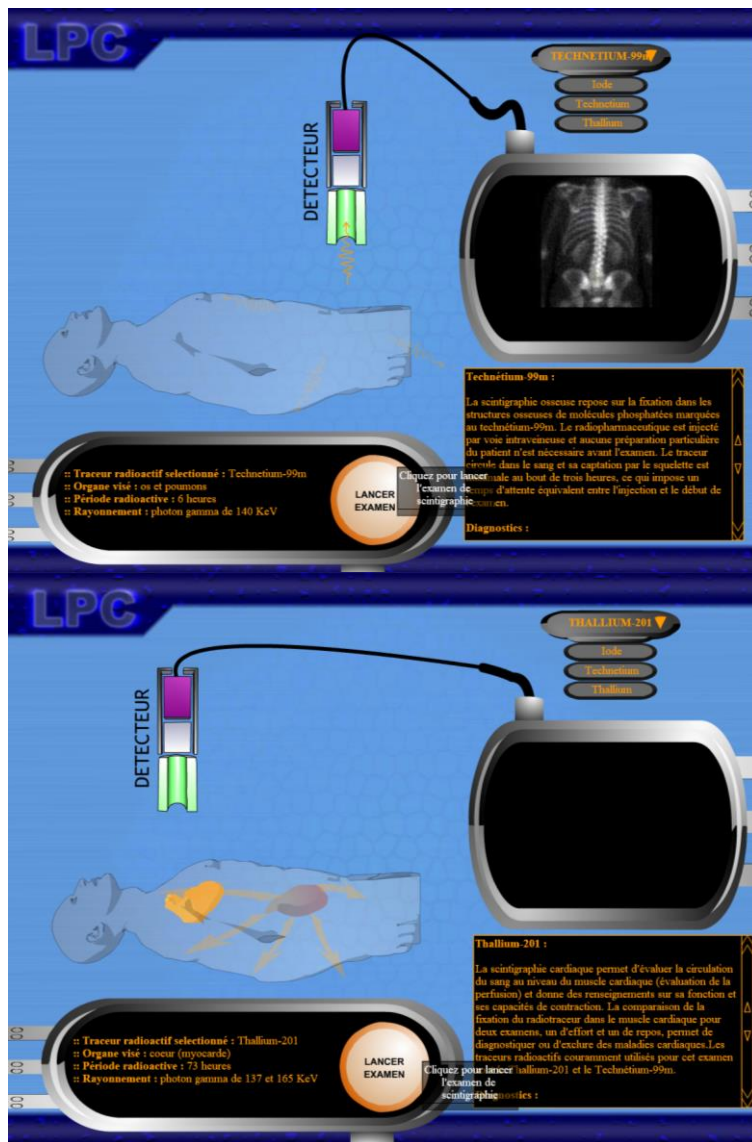
e) Quel est le pourcentage de noyaux encore radioactifs au bout de 5 demi-vies ? 3 % environ

%	100	50	25	12,5	6,25	3,125
Nbre de noyaux	N	$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{4}$	$\frac{N}{8}$	$\frac{N}{16}$	$\frac{N}{32}$
Temps	0	$t_{1/2}$	$2.t_{1/2}$	$3.t_{1/2}$	$4.t_{1/2}$	$5.t_{1/2}$

3/ Compléter le tableau ci-dessous (vous pouvez faire des recherches sur internet) :

En fonction de l'organe que l'on veut analyser, on injecte un produit radioactif différent qui va se fixer sur l'organe souhaité ; en fonction de la façon dont se fixe ou pas le produit, on détecte des tumeurs, des nodules, ... par ex, les nodules froids de la thyroïde captent mal l'iode radioactif.





Type de scintigraphie	<i>Thyroïdienne</i>	<i>Osseuse</i>	<i>Myocardique</i>
Organe concerné	<i>Thyroïde</i>	<i>Os et poumons</i>	<i>Cœur</i>
Élément radioactif utilisé	<i>Iode 123</i>	<i>Tc (Technétium) 99</i>	<i>Tl (Thallium) 201</i>
Demi-vie radioactive de l'élément	<i>13 H</i>	<i>6 H</i>	<i>73 H</i>

2/ a) Donner la composition des deux noyaux d'iode isotope.

Iode 131 : 53 protons, 78 neutrons

Iode 123 : 53 protons, 70 neutrons.

b) Pourquoi l'iode 123 est préférentiellement utilisé lors des scintigraphies thyroïdiennes.

Correction :

L'iode 131 a une période radioactive de 8 jours alors que l'iode 123 a une demi-vie de 13 H. C'est la raison pour laquelle on utilise davantage d'Iode 123 pour réaliser les scintigraphies thyroïdiennes : en effet, la durée au bout de laquelle tout le produit radioactif est éliminé est beaucoup plus courte.

A faire à la maison :

Noyau père	${}^{238}_{92}\text{U}$	${}^{14}_6\text{C}$	${}^{131}_{53}\text{I}$	${}^{123}_{53}\text{I}$	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	${}^{30}_{15}\text{P}$
Demi-vie $t_{1/2}$	$4,6 \cdot 10^9$ ans	5570 ans	8,1 j	13 h	1600 ans	30 ans	91 h	150s

Questions :

1/ On estime qu'au bout d'une durée égale à dix fois la demi-vie, le nucléide n'est plus présent qu'à l'état de traces.

Sachant que l'âge de la Terre est estimé à 4,5 milliards d'années, expliquer pourquoi on trouve toujours de l'uranium 238 sur Terre.

2/ On trouve sur Terre du carbone 14. En quoi est-ce surprenant ? Proposer une explication.

3/ Dans les centrales nucléaires, de nombreux noyaux radioactifs sont produits dans les réacteurs nucléaires, ils n'ont pas d'intérêt pour la production d'électricité mais on ne peut pas éviter leur apparition (produits secondaires).

Les demi-vies des noyaux radioactifs formés dans les centrales vont de quelques secondes (xénon 139, strontium 94), à plusieurs millions d'années (uranium 235), en passant par des valeurs intermédiaires (8 j pour l'iode 131 ; 30 ans pour le césium 137 et le strontium 90).

En quoi le large éventail des demi-vies radioactives est-il un problème dans le traitement des déchets radioactifs ?

4/ En cas d'accident dans une centrale nucléaire, on doit distribuer aux populations proches des comprimés d'iode stable (non radioactif). Expliquer l'intérêt de cette démarche.

Correction du travail à faire à la maison :

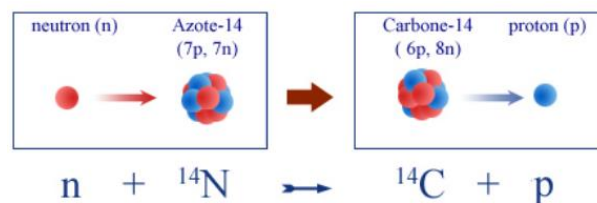
Questions :

1/ Calculons la durée au bout de laquelle l'Uranium ne sera plus présent que sous forme de traces :

$\Delta t (\text{U}) = 10 \cdot t_{1/2} (\text{U}) = 4,6 \cdot 10^{10}$ ans $>$ $4,5 \cdot 10^9$ ans = âge de la Terre ce qui explique qu'il reste encore de l'uranium sur Terre.

2/ La durée $\Delta t (\text{C14})$ à laquelle le nucléide ne sera plus présent qu'à l'état de trace est égale à $10 \cdot t_{1/2} (\text{C14}) \ll$ âge de la Terre donc il ne devrait plus y en avoir s'il était présent depuis l'origine de la formation de la Terre.

Explication : le **C14 est régénéré** : les rayons cosmiques produisent en permanence du C14 à partir de l'azote selon la réaction nucléaire :



3/ Se pose le problème de la gestion des déchets qui doit tenir compte à la fois :

** de la dangerosité des produits radioactifs

** de leur demi-vie

Le traitement des déchets diffère donc selon les 2 critères précédents :

	Vie très courte (< 100 jours)	Vie courte (période < 30 ans)	Vie longue (période > 30 ans)
Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production	Stockage de surface	
Faible activité (FA)		Stockage de surface	Stockage à faible profondeur
Moyenne activité (MA)			Stockage profond
Haute activité (HA)		Stockage profond	

4/ L'iode stable va se fixer sur la thyroïde (pendant une durée de 1 mois environ), ce qui va permettre de saturer la thyroïde en iode et ainsi éviter qu'elle n'absorbe l'iode radioactif émis par la centrale et présent dans l'air environnant.