

LA RADIOACTIVITE

A. LES NOYAUX ATOMIQUES**1. QUELQUES DEFINITIONS**

En vous servant de vos connaissances, compléter le texte suivant :

L'atome est formé d'un et d' qui gravitent autour. Le noyau est chargé, les négativement. L'atome est électriquement

Le noyau est assimilable à une dont le diamètre est de 10000 à 100000 fois plus que celui de l'atome, mais il renferme la quasi totalité de la masse de l'atome (plus de 99,9 %).

Le noyau renferme des et des qui ont des voisines de $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg. Le porte une charge positive de valeur $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Le ne porte pas de charge électrique.

Les protons et les neutrons, comme constituant du noyau, sont appelés les Z, numéro, correspond au nombre de contenus dans le noyau., nombre de masse, correspond au nombre de contenus dans le noyau. Le nombre de neutrons contenus dans le noyau s'obtient par ; il vaut

Un nucléide regroupe un ensemble d'atomes possédant des noyaux identiques. Il est caractérisé par les deux nombres et On le note où X est le symbole de l' correspondant.

Un élément est constitué par des nucléides de même atomique Z.

On appelle, des nucléides qui ont même Z mais qui diffèrent par leurs valeurs de A.

Exemple : ${}^12_6\text{C}$ ${}^{13}_6\text{C}$ ${}^{14}_6\text{C}$

Deux nucléides ont même nombre de, ils diffèrent par leurs nombres de Ils peuvent avoir des propriétés très différentes : l'un peut être stable alors que l'autre ne l'est pas. La stabilité dépend du nombre de nucléons

2. UN EXERCICE D'APPLICATION

On donne les nucléides suivants identifiés par les couples (Z, A) :

(38, 94) ; (54, 139) ; (92, 235) ; (38, 95) ; (54, 140) ; (93, 238) ; (92, 238)

1) Préciser la signification des lettres Z et A.

2) Déterminer les nucléides isotopes.

3) En utilisant le tableau extrait de la classification périodique des éléments, identifier parmi les nucléides cités ceux qui sont isotopes de l'uranium U.

${}_{90}\text{Th}$	${}_{91}\text{Pa}$	${}_{92}\text{U}$	${}_{93}\text{Np}$	${}_{94}\text{Pu}$
--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------

4) Ecrire les symboles des nucléides correspondants et préciser la composition de leur noyau respectif.

5) Quel est l'isotope le plus léger ?

6) L'isotope le plus léger représente 0,7 % de l'uranium naturel, l'autre 99,3 %. Si l'on dispose de 2000 noyaux d'uranium naturel, combien de noyaux lourds a-t-on ? Combien de noyaux légers a-t-on ?

B. LA RADIOACTIVITE

1. UNE SURPRISE POUR UN PHYSICIEN DE LA FIN DU XIX^{ème} SIECLE ...

En 1896, le physicien français Henri Becquerel (1852-1908) avait rangé sa plaque photographique près de sels d'uranium qu'il était en train d'étudier. Quelle ne fut pas sa surprise quand il s'aperçut que le film photographique avait été impressionné sans avoir été exposé à la lumière. Il en déduit que l'uranium émettait des rayonnements invisibles ressemblant aux rayons X découverts, l'année précédente, par Wilhelm Roentgen, physicien allemand, et découvre ainsi la radioactivité.

Marie Curie (1867-1934) et Pierre Curie (1859-1906) se consacrent à l'étude de la radioactivité et découvrent deux corps radioactifs : le radium et le polonium. Ces travaux leur valent la prix Nobel de physique en 1903, qu'ils partagent avec Henri Becquerel. Marie Curie obtient encore le prix Nobel de chimie en 1911.

2. QU'EST-CE-QUE LA RADIOACTIVITE ?

La radioactivité provient de la structure minuscule nichée au centre de l'atome : le noyau. La plupart du temps, ce noyau constitue un édifice stable. Mais pour certains d'entre eux l'équilibre est imparfait : ils changent d'état (on dit qu'ils se désintègrent), en rayonnant au passage une énergie considérable et une particule.

Les éléments constitués d'atomes ayant des noyaux instables sont des éléments radioactifs ou radioéléments.

Des éléments radioactifs existent dans la nature ; le plus connu est l'uranium U que l'on extrait de certains gisements miniers mais qui se trouve à l'état de traces dans presque tous les sols. D'autres, moins connus sont pourtant très répandus dans la nature : c'est la cas du potassium ⁴⁰ K que l'on trouve dans presque tous les organismes vivants.

Il existe des éléments radioactifs qui sont produits artificiellement, en particulier dans les centrales nucléaires : c'est le cas de l'iode ¹³¹ I, du césium ¹³⁷ Cs et du plutonium ²³⁹ Pu .

L'énergie produite par une désintégration radioactive peut être utilisée à différentes fins : production d'électricité, usage médical ou militaire... . L'action des rayonnements sur les matériaux et sur l'homme peut avoir des effets désastreux.

3. LES PARTICULARITES DE LA RADIOACTIVITE

Pour un élément radioactif, la désintégration est un phénomène :

- **nucléaire : c'est-à-dire ne concernant que le noyau de l'atome,**
- **unique : chaque noyau ne peut se désintégrer qu'une fois,**
- **spontané : la désintégration ne nécessite aucune intervention extérieure ,**
- **incontrôlable : il est impossible d'arrêter une désintégration,**
- **aléatoire : le moment où débute la désintégration d'un noyau est indéterminé.**

4. QUELLE EST LA NATURE DES RAYONNEMENTS RADIOACTIFS ?

Lors de sa désintégration, un noyau peut émettre différents types de rayonnements :

- **le rayonnement alpha (α) : il se traduit par l'émission de deux protons et de deux neutrons formant un noyau d'hélium.**

- le rayonnement bêta (β) : On distingue deux types de rayonnements β :
 - le rayonnement β^+ : il se traduit par l'émission d'un positon.
 - le rayonnement β^- : il se traduit par l'émission d'un électron.
- le rayonnement gamma (γ) : il s'agit d'un rayonnement électromagnétique, de même nature que la lumière, les ondes radios ou les rayons X mais bien plus intense et énergétique. Ces rayons γ peuvent être produits seuls ou accompagner les rayons α et β .

5. COMMENT DETECTER UN RAYONNEMENT RADIOACTIF ?

Du fait de leurs effets néfastes, il est absolument nécessaire de détecter les rayonnements radioactifs. Pour ce faire, il existe plusieurs dispositifs dont le plus connu est le compteur Geiger- Muller. Il émet un crépitement à chaque désintégration et compte le nombre de désintégrations pendant une durée donnée.

Dans un laboratoire de physique de lycée, on l'habitude d'utiliser un compteur Geiger-Muller CRAB associée à une source radioactive de césium 137 émettrice de rayonnement β^- et γ .



Expérience (professeur) :

Effectuer des comptages successifs sur une durée de 50s lorsque la source est à 4,5 cm du détecteur.

Observations :

Il n'y a aucune régularité dans les résultats de comptage.

Conclusion :

On vérifie bien le caractère aléatoire de la désintégration radioactive.

6. COMMENT SE PROTÉGER D'UN RAYONNEMENT RADIOACTIF ?

La protection contre les rayonnements radioactifs met en jeu des stratégies d'absorption. Il faut donc s'intéresser à leur pouvoir de pénétration dans la matière. Ce pouvoir n'est évidemment pas le même pour les trois types de rayonnements, il augmente en passant des rayons α aux rayons γ .

Le rayonnement α est peu pénétrant, il est absorbé et peut être stoppé par une feuille de papier.

Qu'en est-il des rayonnements β et γ ?

a) Activité expérimentale

Expérience :

On utilisera le CRAB et ses écrans d'aluminium.

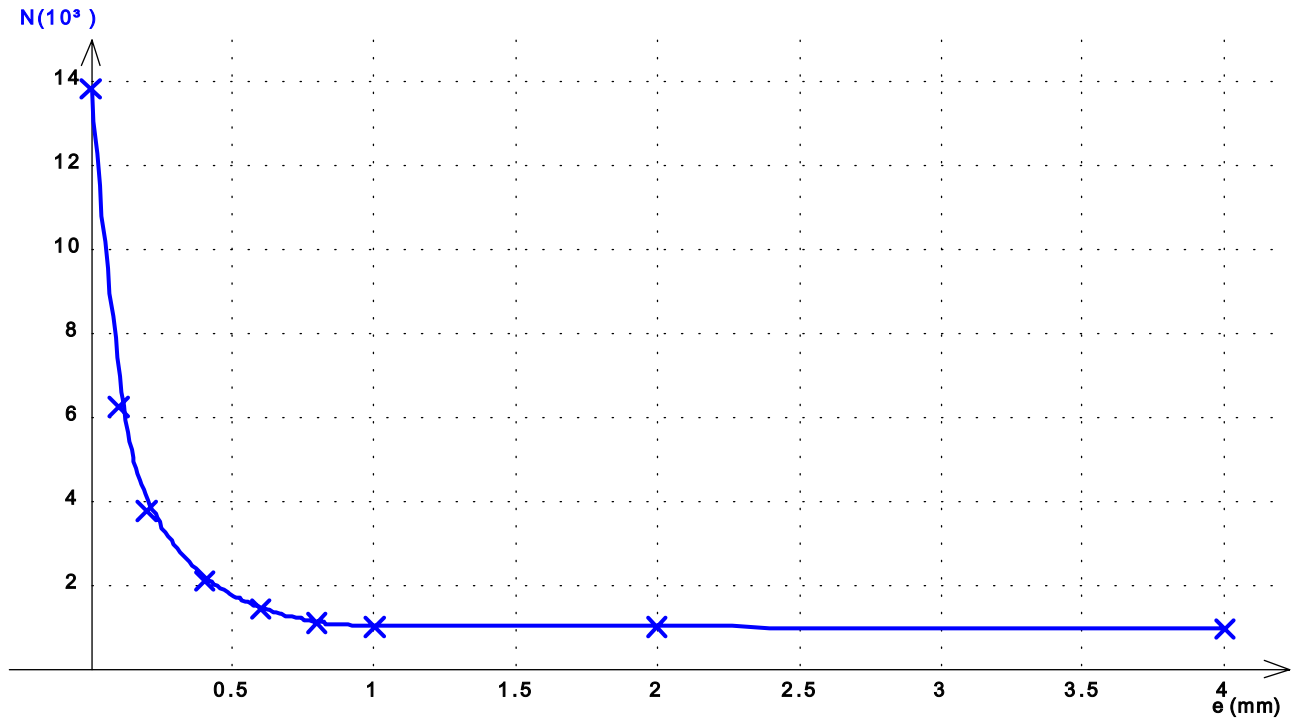
Placer la source à 4,5 cm du détecteur. Intercaler des écrans d'aluminium d'épaisseur croissante allant jusqu'à 4 mm. Effectuer, pour chaque épaisseur, un comptage d'une durée de 50 s chacun. Pour chaque comptage, noter la valeur N du nombre de désintégrations obtenues et compléter le tableau de mesures.

Mesures :

e (mm)	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0	4,0
N	13831	6230	3784	2076	1420	1093	1015	1011	973

Exploitation des mesures :

Tracer, au fur et à mesure, la courbe $N = f(e)$ à l'aide d'un logiciel adapté.



Interprétation des résultats :

Que peut-on dire de l'influence des écrans d'aluminium sur l'absorption des rayonnements ?

Le nombre de désintégrations détectées diminue lorsque l'épaisseur de l'écran d'aluminium augmente.

Quel est le rayonnement absorbé par l'aluminium ?

Sachant que le rayonnement β^- est moins pénétrant que le rayonnement γ , il sera absorbé en premier et donc par l'aluminium.

A quoi correspondent les ≈ 1000 « désintégrations » détectées pour $e = 4$ mm ?

Il s'agit du rayonnement γ non absorbé par l'aluminium.

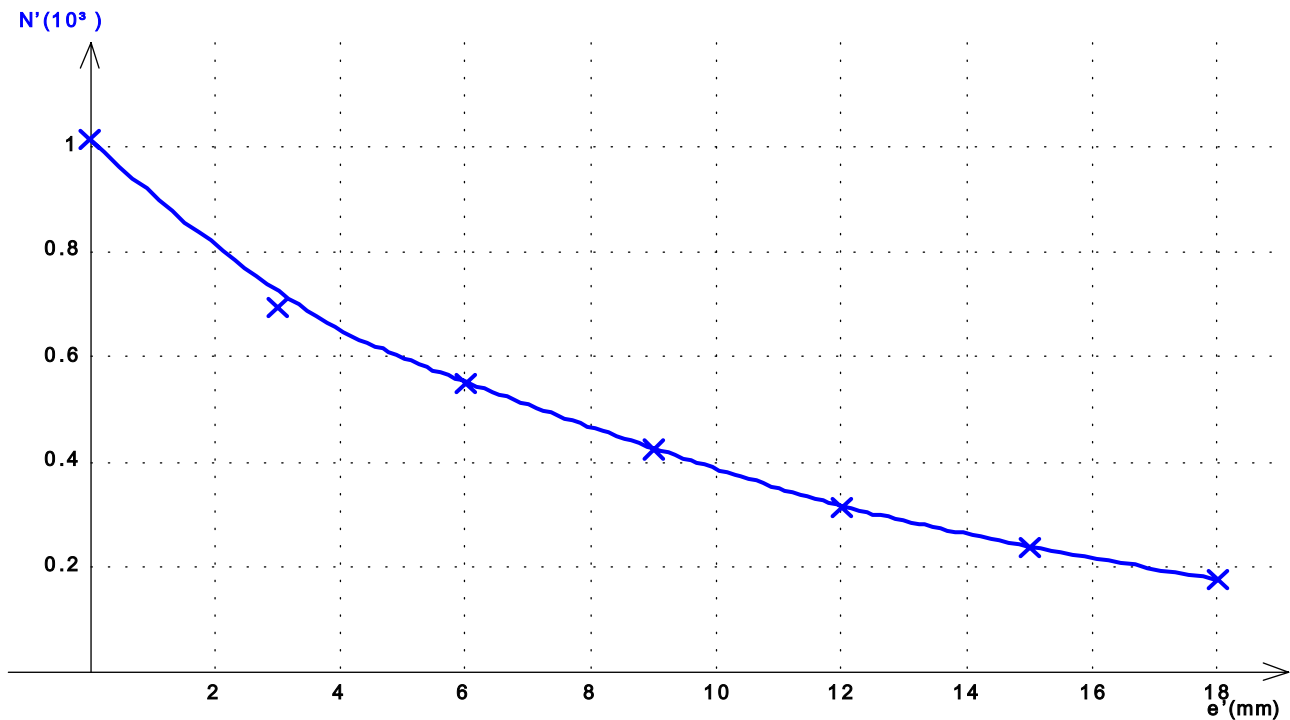
Quelle est l'épaisseur d'aluminium capable de stopper le rayonnement β^- ?

Le rayonnement β^- est stoppé par 1 mm d'aluminium.

b) Interprétation d'une expérience

On se propose d'interpréter les résultats d'une expérience tout à fait similaire à la précédente. La seule différence est que l'écran métallique est constitué d'une épaisseur de 1 mm d'aluminium et d'une succession d'écrans de plomb de diverses épaisseur e' .

Graphe : $N' = f(e')$



Interprétation des résultats :

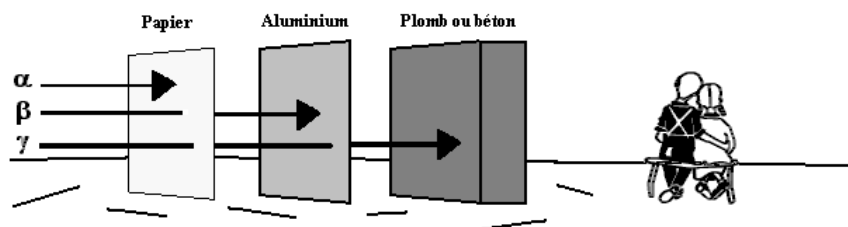
Que peut-on dire de l'influence des écrans de plomb sur l'absorption du rayonnement γ ?

Le nombre de désintégrations détectées diminue lorsque l'épaisseur de l'écran de plomb augmente. Le plomb absorbe donc le rayonnement γ .

Le rayonnement γ est-il stoppé par le plomb au même titre que le faisait l'aluminium pour le rayonnement β^- ?

Le rayonnement γ est stoppé par un écran de plomb dont nous ne pouvons pas déterminer l'épaisseur grâce au graphe.

c) Conclusion



- Le rayonnement α peut traverser quelques centimètres d'air et être absorbé par quelques millimètres de papier.
- Le rayonnement β peut traverser quelques dizaines de centimètres d'air et être absorbé par quelques millimètres d'aluminium.
- Le rayonnement γ peut traverser plusieurs centaines de mètres d'air et être absorbé par quelques dizaines de centimètres de plomb ou bien quelques mètres de béton.

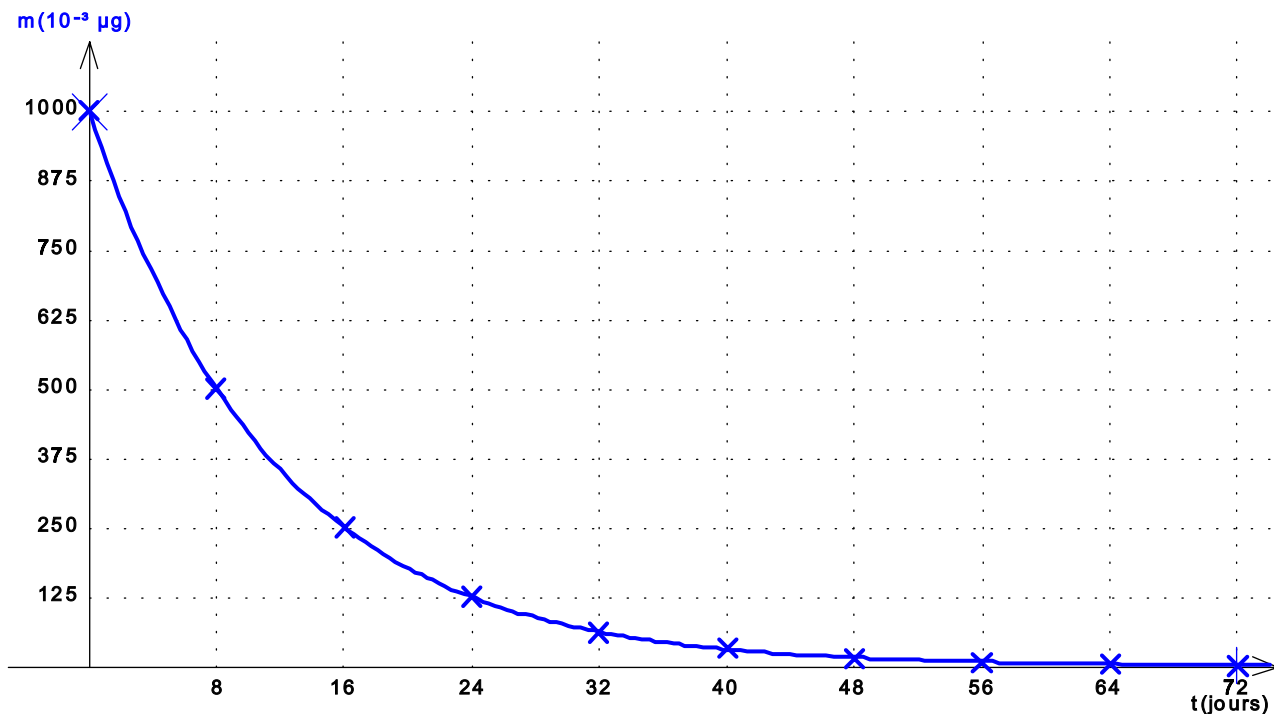
7. QUELLE EST LA DUREE DE VIE D'UN ECHANTILLON DE MATIERE RADIOACTIVE?

a) La décroissance radioactive

Le traitement de l'hyperthyroïdie par l'iode radioactif repose sur le fait que la glande thyroïde a un besoin naturel d'iode pour produire l'hormone thyroïdienne. La thyroïde est la seule partie du corps capable de capter et de retenir l'iode. Dans l'hyperthyroïdie, les cellules thyroïdiennes sont trop stimulées et produisent des quantités excessives d'hormones, lesquelles sont secrétées dans le sang et causent les symptômes propres à l'hyperthyroïdie (goître, tachycardie, fatigue, insomnie, amaigrissement, ...).

Lors du traitement à l'iode radioactif, la glande thyroïdienne ne peut détecter si l'iode est radioactif ou non, et l'absorbe normalement de façon proportionnelle à l'activité de la thyroïde. Ainsi, l'iode radioactif s'accumule dans les cellules qui produisent l'hormone thyroïdienne et y demeure assez longtemps pour irradier la glande et ralentir sa production. L'iode radioactif qui n'est pas retenu par la glande thyroïde est rapidement éliminé par l'organisme (dans les deux ou trois jours), principalement par le rein et dans l'urine.

Afin de soigner sa glande thyroïde, un patient absorbe à la date $t = 0$ une masse $m = 1 \mu\text{g}$ d'iode ^{131}I . On étudie l'évolution de la masse d'iode dans le corps du patient en fonction du temps et on obtient la courbe suivante :



Il est impossible de prédire à quel moment un atome instable va se transformer. Mais lorsque l'on considère un ensemble d'atomes d'un même élément, le rythme de transformation des atomes est statistiquement mesurable. On obtient la courbe de décroissance radioactive.

b) La période radioactive

Chaque radioélément est caractérisé par sa période radioactive (ou temps de demi-vie). La valeur de la période radioactive est extrêmement variable d'un élément à l'autre :

Radioélément	^{235}U	^{239}Pu	^{137}Cs	^{57}Co	^{131}I	^{234}Th	^{212}Po
Période	$4,5 \cdot 10^9$ ans	24300 ans	30 ans	270 jours	8 jours	1,05 s	$3 \cdot 10^{-7}$ s

A l'aide de ce tableau et en étudiant le graphe ci-dessus, formuler une définition de la période radioactive. Voici plusieurs propositions :

- ① « La période est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se désintègrent. »
- ② « La période est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents ont été désintégrés. »
- ③ « La période est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés. »
- ④ « La période est la durée au bout de laquelle tous les noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés. »

c) Une application importante de la décroissance radioactive : la datation

Activité documentaire (à faire à la maison) :

Document n°1 :

Les noyaux radioactifs sont des chronomètres naturels qui fonctionnent comme de vraies machines à remonter le temps. Toutes les méthodes de datation sont fondées sur un principe simple : la décroissance progressive de la radioactivité contenue dans les objets que l'on veut dater.

Grâce à des isotopes comme le carbone 14, on peut ainsi remonter jusqu'à -40000 ans. Le carbone présent dans l'atmosphère est constitué de carbone 12 stable, et d'une très faible quantité de carbone 14 dont la période radioactive est de 5730 ans. Les organismes vivants, les animaux en respirant, les végétaux par la photosynthèse, échangent sans cesse du carbone 14, produit dans la haute atmosphère, avec le milieu extérieur. A leur mort, l'échange de carbone 14 cesse mais il continue à se désintégrer à l'intérieur de l'organisme. Progressivement, la teneur en carbone 14 va donc baisser. En faisant le rapport quantité de carbone 14 sur quantité de carbone 12, on peut alors dater la mort d'un organisme. Moins il reste de carbone 14 dans l'échantillon à dater et plus la mort est ancienne.

Cette méthode a démontré que la grotte Cosquer découverte en 1991 dans les calanques de Marseille, avait été fréquentée à deux périodes successives : les peintures de mains sont estimées à environ 27000 ans; celles d'animaux ont été réalisées 10000 ans plus tard.

Le couple (uranium 238 et plomb 106) a permis de résoudre une autre énigme : celle de l'âge de la Terre. Question qui, à toutes les époques, a intrigué les hommes. Les exégètes (interprètes) de la Bible estimaient son âge à 10000 ans avant J-C. D'autres, reprenant l'hypothèse du refroidissement d'un centre chaud de la Terre, l'estimaient à 75000 ans. A la fin du XIXe siècle, Lord Kelvin pensait que l'âge du monde ne pouvait dépasser 100 millions d'années. La radioactivité a mis tout le monde d'accord : notre bonne vieille planète Terre mérite bien ses 4,5 milliards d'années !

D'autres isotopes rendent des services plus inattendus. C'est le cas du radium utilisé pour le calcul de l'âge des homards ! Une pyramide des âges précise est un préalable essentiel à la validation des quotas de pêche. Lorsque le homard calcifie sa carapace, le radium présent dans l'eau de mer se transforme en thorium par désintégration radioactive. La proportion radium/thorium nous donne alors l'âge de l'animal à 15 jours près.

Document n°2 :

On définit l'activité radioactive d'une source comme le nombre de désintégrations par seconde ; on la mesure en Becquerel (Bq).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration par seconde}$$

Document n°3 :

Des fragments d'os ont été prélevés sur un site préhistorique. La mesure de l'activité du carbone 14 des fragments d'os anciens donne 110 désintégrations par heure. La même masse de fragments d'os actuels donne 880 désintégrations par heure.

Questions :

- 1) *Quelle est la période radioactive du carbone 14 ?*
- 2) *Quelle est l'activité exprimée en Becquerel des fragments d'os anciens ?*
- 3) *Quel est l'âge approximatif des fragments d'os ?*