

**Exercice 1 : traitement des déchets radioactifs produits par les hôpitaux**

Les hôpitaux français font partie, par l'intermédiaire de leurs services de médecine nucléaire et des laboratoires de radioanalyse, des producteurs de déchets radioactifs. Il y a donc obligation pour ces hôpitaux de suivre une démarche de traitement de ces déchets.

Vous allez dans cette partie suivre l'évolution des déchets radioactifs obtenus après un test de Schilling.

**1. Détermination de l'élément radioactif**

- 1.1. En utilisant les annexes 1 et 2, déterminer l'élément radioactif intervenant dans le test de Schilling.
- 1.2. En justifiant la réponse, parmi les éléments suivants, donner le (ou les) isotope(s) du cobalt  
 $57 : {}_{26}^{57}\text{Fe} ; {}_{27}^{60}\text{Co} ; {}_{28}^{57}\text{Ni}$

**2. L'élément Cobalt 57**

- 2.1. Donner la composition du noyau de cobalt 57 :  ${}_{27}^{57}\text{Co}$ .
- 2.2. Le cobalt 57 est radioactif  $\beta^+$ . Donner le nom et la notation symbolique de la particule  $\beta^+$ .
- 2.3. En utilisant l'annexe 3, écrire l'équation de désintégration du cobalt 57, en justifiant avec les lois de conservation.

**3. Évolution de l'activité du cobalt 57 au cours du temps**

- 3.1. Donner la définition d'une période radioactive (ou temps de demi-vie radioactive).
- 3.2. En utilisant l'annexe 4, vérifier que la période radioactive est cohérente avec celle donnée dans la notice du cyanocobalamine l'annexe 5.
- 3.3. Pourquoi est-il précisé « à la date de calibration » sur la notice du médicament dans l'annexe 5 ?

**4. Traitement des déchets**

En vous aidant des annexes 5 et 6, comment faut-il traiter les déchets des gélules de cyanocobalamine ?

On donne  $1 \mu\text{g} = 1 \times 10^{-6} \text{ g}$ .

**DOCUMENTS ANNEXES****Annexe 1 : le test de Schilling**

Le test de Schilling est un test qui a pour but d'étudier le fonctionnement de la vitamine B12 dans l'organisme.

Pour cela, on donne au patient 2 capsules contenant de la vitamine B12, l'une radioactive, l'autre non (ceci est possible grâce au cobalt contenu dans la molécule de vitamine B12).

La mesure, dans les urines émises pendant 24h, du taux d'excrétion des deux sortes de vitamines B12, permet de différencier les malades ayant un problème d'absorption de la vitamine B12, par rapport à ceux qui n'en ont pas.

## Annexe 2 : Les principaux radioéléments utilisés dans les hôpitaux

Voici la liste des éléments radioactifs utilisés dans un centre hospitalier :

<b>Groupe II a : radioactivité élevée</b>	
iode 125	Radio-immunologie
iode 131	Traitement de l'hyperthyroïdie
<b>Groupe II b : radioactivité moyenne</b>	
Carbone 14	Radioanalyse
Cobalt 57	Dosage des vitamines B12
Chrome 51	Mesure des volumes sanguins
Fer 59	Étude du métabolisme du fer
Yttrium 90	Synoviorthèse
Rhénium 186	
Phosphore 32	Traitement des polyglobulies
Gallium 67	Détection des foyers inflammatoires et infectieux
Indium 111	Marquage des cellules sanguines
Thallium 201	Scintigraphie myocardique
<b>Groupe III : radioactivité faible</b>	
Soufre 35	Recherches
Technétium 99	Scintigraphies
Tritium	Exploration du métabolisme de l'eau
Xénon 133	Exploration pulmonaire

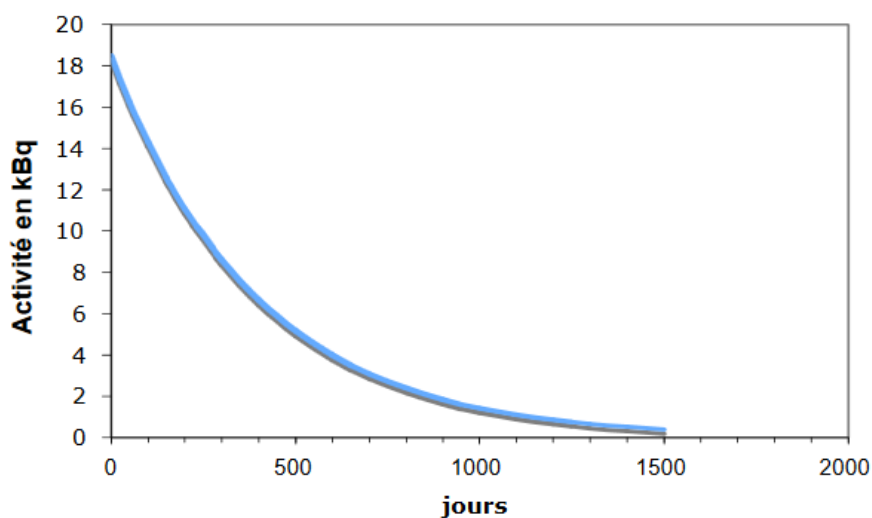
D'après [www.graie.org](http://www.graie.org)

## Annexe 3 : Extrait de la classification périodique des éléments

$^{25}\text{Mn}$	$^{26}\text{Fe}$	$^{27}\text{Co}$	$^{28}\text{Ni}$	$^{29}\text{Cu}$
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

## Annexe 4 : Courbe de décroissance radioactive du Cobalt 57

**courbe de décroissance du cobalt 57**



## Annexe 5 : Extrait de la notice du CYANOCOBALAMINE

### 1. DÉNOMINATION DU MEDICAMENT

Cyanocobalamine ( $^{57}\text{Co}$ ) GE Healthcare, gélule

### 2. COMPOSITION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE

Cyanocobalamine ( $^{57}\text{Co}$ ).....18,5 kBq à la date de calibration

Cyanocobalamine ( $^{57}\text{Co}$ )..... 1  $\mu\text{g}$

Pour 1 gélule

Le cobalt 57 a une période d'environ 271 jours ; il décroît en émettant un positon et un rayonnement gamma dont la principale énergie est de 122 keV.

Source : site de l'ANSM (Agence Nationale de Sécurité du Médicament)

## Annexe 6 : Classification des déchets radioactifs

	Déchets dits à Vie Très Courte (VTC) $t_{1/2} < 100$ jours	Déchets dits à Vie Courte (VC) $t_{1/2} < 31$ ans	Déchets dits à Vie Longue (VL) $t_{1/2} > 31$ ans
Très Faible Activité (TFA) $\text{TFA} < 100 \text{ Bq/g}$	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis élimination dans les filières de stockage dédiées aux déchets conventionnels	Recyclage ou stockage dédié en surface	
Faible Activité (FA) $100 \text{ Bq/g} < \text{FA} < 1 \text{ MBq/g}$		Stockage de surface	Stockage à faible profondeur
Moyenne Activité (MA) $1 \text{ MBq/g} < \text{MA} < 1 \text{ GBq/g}$			Stockage en couche géologique profonde
Haute Activité (HA) $\text{HA} > 1 \text{ GBq/g}$	Non applicable <sup>1</sup>	Stockage en couche géologique profonde	

<sup>1</sup> : Les déchets de haute activité à vie très courte n'existent pas.

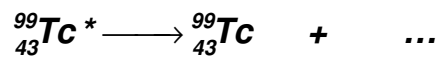
*D'après le site de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire)*

## Exercice 2 : scintigraphie osseuse

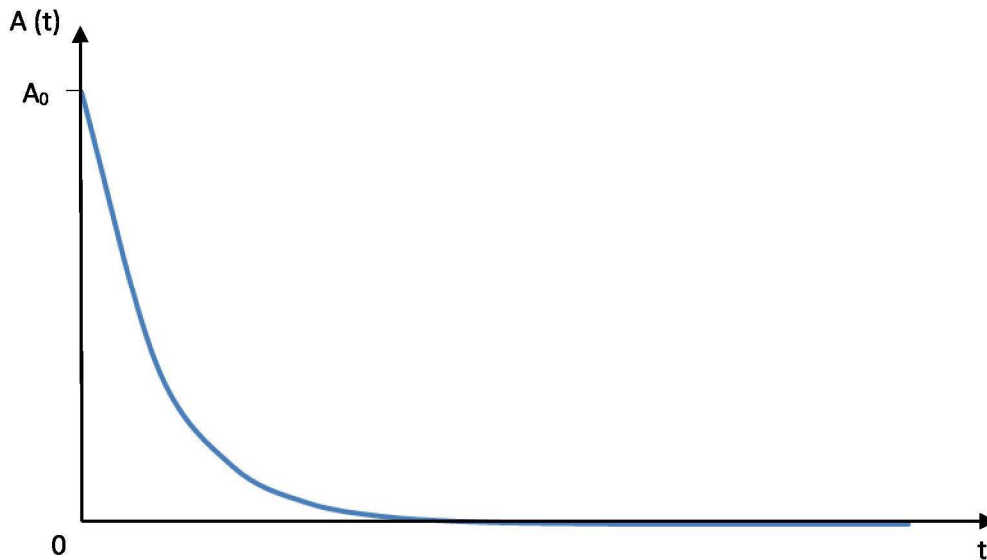
Pour la scintigraphie osseuse, on utilise souvent le "technétium 99m" qui est un produit radioactif issu de la désintégration du "molybdène 99". On s'intéresse dans cette partie à l'obtention du "technétium 99" par désintégration radioactive.

Pour information : le "technétium 99m" est un état excité du "technétium 99".

1. Citer les deux types de radioactivité autres que celles indiquées dans l'annexe 2. Vous préciserez la nature des particules émises lors de ces rayonnements.
2. Dans la nature, on trouve différents types de molybdène autres que le "molybdène 99" notés  ${}_{42}^{92}\text{Mo}$ ,  ${}_{42}^{94}\text{Mo}$ ,  ${}_{42}^{95}\text{Mo}$ . Comment nomme-t-on ces différents types d'atomes de molybdène ?
3. Écrire l'équation de la désintégration du "molybdène 99" ( ${}_{42}^{99}\text{Mo}$ ) en "technétium 99m" ( ${}_{43}^{99}\text{Tc}$ )
4. Compléter l'équation de désexcitation par radioactivité gamma du technétium 99m (l'étoile \* sur le symbole du technétium correspond à l'état excité) :



5. Expliquer ce qu'est une durée de demi-vie  $t_{1/2}$  et placer la sur le graphique d'activité radioactive ci-dessous en expliquant votre démarche :



6. Expliquer pourquoi il est possible d'éliminer le "technétium 99m" en local (dans le centre de scintigraphie) au bout de 2,5 jours.

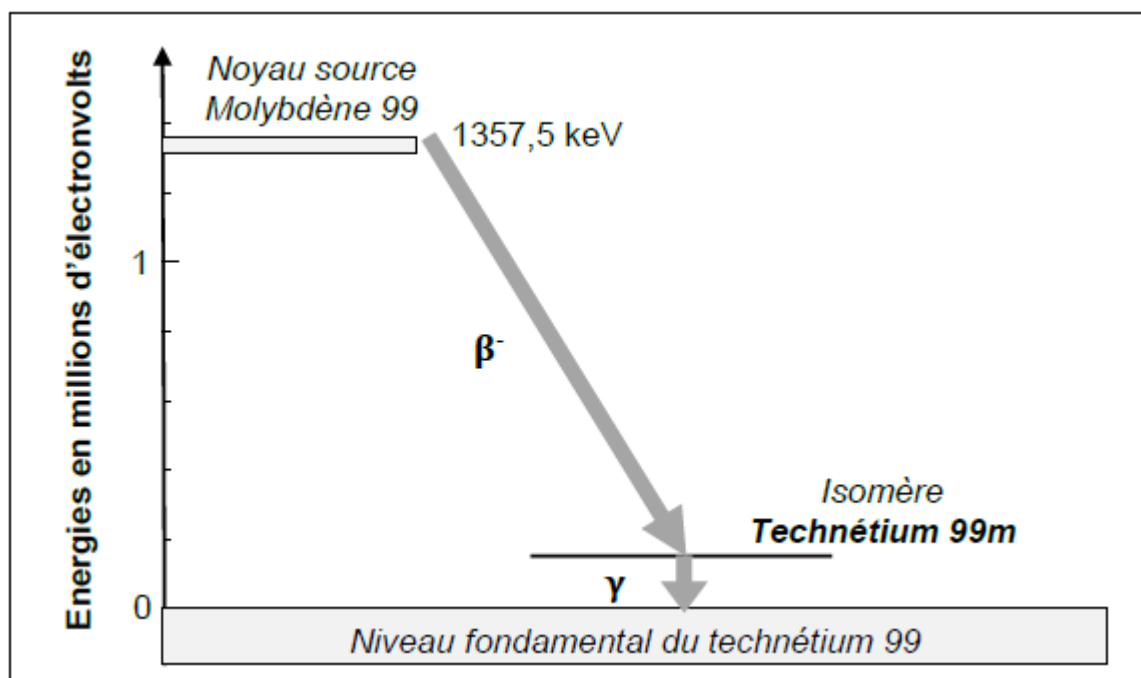
## Annexe 1 : Recyclage du technétium 99m

La période radioactive du technétium 99m étant inférieure à 100 jours, les déchets et les effluents produits peuvent faire l'objet d'une gestion et d'une élimination locale sans qu'il n'y ait de prise en charge obligatoire par l'ANDRA.

### Déchets solides

Les déchets sont déposés dans des poubelles spécifiques plombées dont l'ouverture doit pouvoir se faire à l'aide du pied. Ils sont ensuite stockés dans un local réservé pendant au moins 10 périodes radioactives, soit pour le technétium 99m, près de 60 heures (2,5 jours).

(source IRSN)



[www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com)

### Exercice 3 : radioactivité du lait à la suite de l'accident de Fukushima

#### 1. Exploitation d'un article publié sur Internet

L'annexe 1 est extrait d'un site Internet ; il traite des conséquences de l'accident de Fukushima sur le lait produit dans d'autres régions du monde.

- 1.1. L'annexe 1 concerne un noyau radioactif. Donner son nom et sa notation symbolique, en utilisant l'annexe 2.
- 1.2. Définir la notion d'isotopie. À l'aide de l'annexe 2, présentant différents nucléides, donner les différents isotopes de l'iode I.

#### 2. L'iode 131

L'iode 131 est radioactif  $\beta^-$ .

- 2.1. Donner la notation symbolique et le nom de la particule  $\beta^-$ .
- 2.2. En utilisant l'annexe 2, écrire l'équation de désintégration de l'iode 131 et préciser la notation symbolique du noyau fils obtenu.

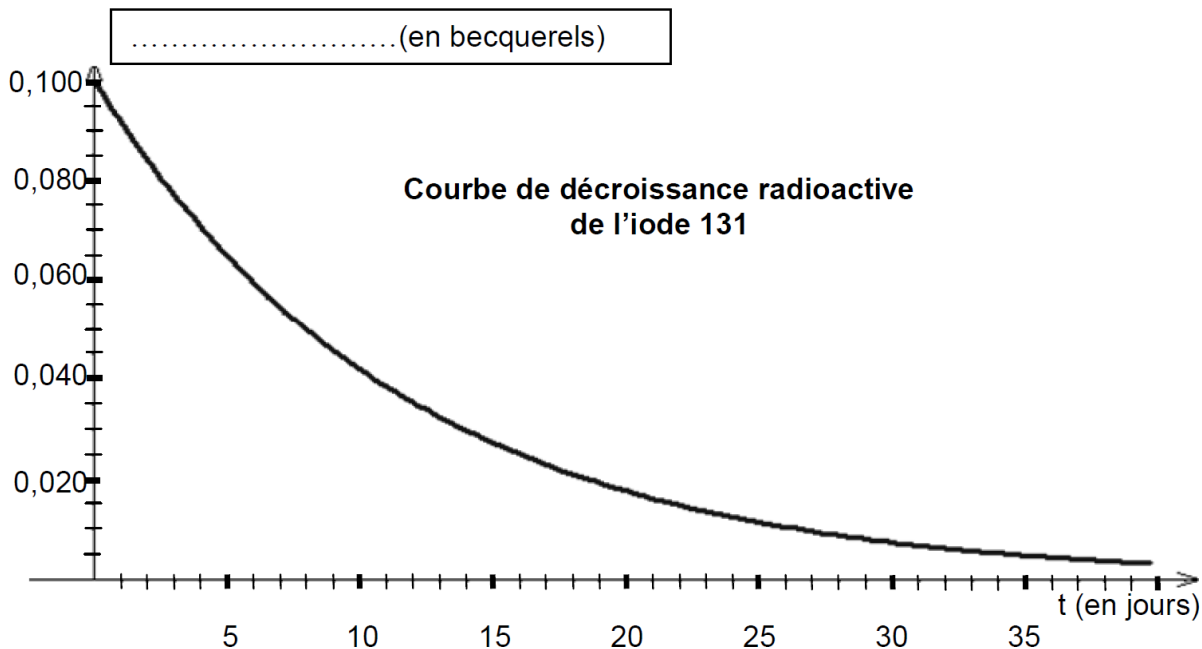
### 3. Évolution au cours du temps

3.1. Donner la définition de la demi-vie  $t_{1/2}$  (également noté T).

3.2. À partir l'annexe 1, indiquer la valeur de la demi-vie de l'iode 131.

3.3. Sur la courbe de décroissance radioactive de l'iode 131 pour un litre de lait ci-dessous, indiquer :

- le nom et le symbole de la grandeur exprimée en becquerel,
- les durées  $t_{1/2}$ ,  $2 t_{1/2}$ ,  $3 t_{1/2}$  (durées également notées T, 2 T et 3 T).



3.4. Dédurre de ce graphe, ou d'un raisonnement, la valeur de l'ordonnée exprimée en becquerels, mesurée au bout de 32 jours.

### 4. Absorption du rayonnement par l'organisme humain

Une partie du rayonnement peut être absorbée par l'organisme humain.

La dose d'énergie absorbée est  $D = \frac{E}{m}$  avec :

E : énergie transférée en joules (J)

m : masse de matière irradiée (kg)

D : dose d'énergie absorbée

4.1. Citer l'unité de mesure de la dose d'énergie absorbée D.

Pour un litre de lait absorbé, un enfant de masse  $m = 10$  kg reçoit une énergie  $E = 0,0010$  J.

4.2. Calculer la dose d'énergie D absorbée par cet enfant.

4.3. Citer un risque lié pour l'organisme humain lié à la radioactivité.



De l'iode 131 a été détecté dans des échantillons de lait français et américains, rapportent simultanément l'Institut français de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), et l'*Environmental Protection Agency* américaine. Les résultats d'analyses confirment que cet isotope radioactif provient des rejets de la centrale nucléaire de Fukushima. Les doses retrouvées sont toutefois très faibles et non-toxiques.

L'analyse d'échantillons de lait effectuée le 25 mars en Loire-Atlantique par l'IRSN, fait état d'un taux inférieur à 0,11 becquerels par litre ( $\text{Bq.L}^{-1}$ ). Des prélèvements opérés à Spokane, dans l'Etat de Washington, situé sur la côte ouest des Etats-Unis montrent un taux de  $0,029 \text{ Bq.L}^{-1}$ .

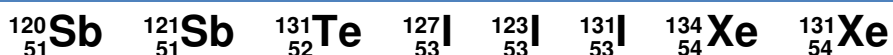
Ces résultats sont supérieurs à la normale, puisqu'en temps ordinaire, aucune trace d'iode 131 ne doit être décelable dans le lait. Ils demeurent toutefois « 5 000 fois inférieurs au taux d'intervention déterminé par la Food and Drug Administration (FDA) », indiquent nos confrères du *New York Times*. Ce seuil à ce jour, est établi à  $170 \text{ Bq.L}^{-1}$ .

Par ailleurs, précisons que ces doses d'iode 131 restent bien en-deçà des valeurs observées en mai 1986 en France, un mois après l'accident de Tchernobyl. « On avait détecté  $100 \text{ Bq.L}^{-1}$  dans le lait à cette période », indique Philippe Renaud, chef du Laboratoire d'études radio-écologiques en milieux continental et marin à l'IRSN. Il rappelle également que « le lait est un des aliments les plus sensibles à la contamination radioactive, après les légumes à feuilles. Il est contaminé par le biais de l'herbe chargée d'isotopes radioactifs et consommée par les vaches ».

L'iode 131 a une demi-vie de 8 jours. En d'autres termes, il perd la moitié de sa nocivité sur cette période. Cet isotope radioactif est particulièrement toxique lorsqu'il est absorbé par la thyroïde. En cas d'exposition massive, les autorités sanitaires peuvent demander à la population visée d'absorber un comprimé d'iodure de potassium. Celui-ci sature alors la thyroïde, réduisant ainsi le risque de cancer. En revanche, il est tout à fait déconseillé – et potentiellement dangereux – d'absorber ce comprimé sans y avoir été invité par les autorités.

*D'après : Interview de Philippe Renaud chef du laboratoire d'études radio-écologiques en milieux continental et marin à l'IRSN, 29 mars 2011 ; IRSN, 29 et 30 mars 2011 ; New York Times, 31 mars 2011*

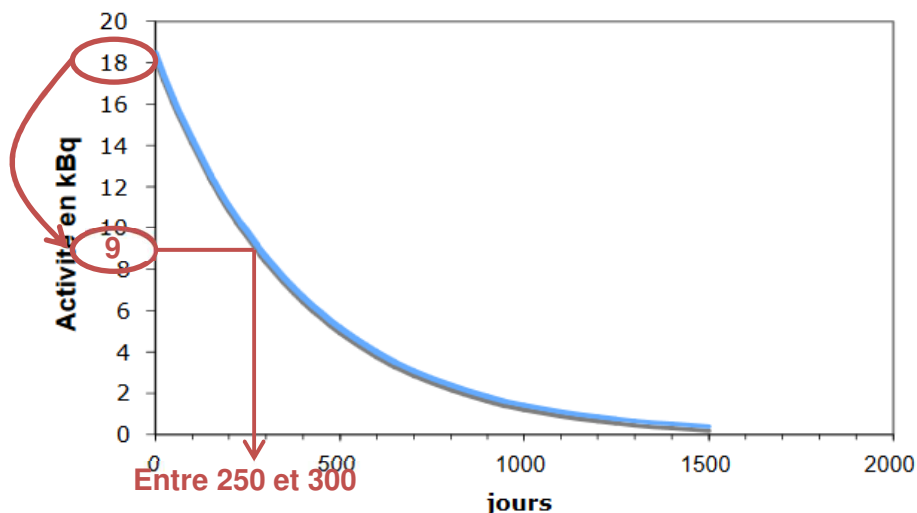
## Annexe 2 : Représentation symbolique de quelques nucléides





## Exercice 1 : traitement des déchets radioactifs produits par les hôpitaux

- 1.1. D'après le document 1, il s'agit du cobalt.  
D'après le document 2, c'est le cobalt 57
- 1.2. Des isotopes ont des noyaux ayant le même nombre de protons, mais pas le même nombre de neutrons (ou de nucléons).  
L'isotope du cobalt est donc le cobalt 60 :  ${}^{60}_{27}\text{Co}$
- 2.1. Le noyau de  ${}^{57}_{27}\text{Co}$  contient 27 protons et  $(57 - 27) = 30$  neutrons.
- 2.2. La particule  $\beta^+$  est un positon.  
Son symbole est  ${}^0_{+1}\text{e}$
- 2.3. Désintégration du cobalt 57 :
- $${}^{57}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^0_{+1}\text{e} + {}^{57}_{26}\text{Fe}$$
- Il y a conservation du nombre total de nucléons :  $57 = 57 + 0$   
Et du nombre total de charges :  $27 = 26 + 1$
- 3.1. La période radioactive est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs présents dans un échantillon se soient désintégrés.
- 3.2. À l'aide du document 4, on trouve une demi vie comprise entre 250 et 300 jours.



Ce qui est cohérent avec la valeur de 271 jours que l'on trouve dans l'annexe 5.

- 3.3. Entre la date de production et la date de consommation, il peut s'écouler plusieurs jours et donc, une partie des noyaux de cobalt radioactifs se seront désintégrés. L'activité du médicament va donc baisser au cours du temps.
4. D'après le document 6, c'est un déchet à vie courte (la demi vie est supérieure à 100 jours et inférieure à 31 ans.)



Une gélule de cyanocobalamine contient  $1\mu\text{g}$  de cobalt 57 et a une activité maximale de  $18,5\text{ kBq}$ . Ce qui fait  $\frac{18,5\text{ kBq}}{1\mu\text{g}} = \frac{18500\text{ Bq}}{1\cdot 10^{-6}\text{ g}} = 1,85 \times 10^{10}\text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ .  
C'est un déchet de haute activité : stockage en couche géologique profonde.

### Exercice 2 : scintigraphie osseuse

- Il existe :
  - la radioactivité alpha, avec émission d'un noyau d'hélium.
  - la radioactivité bêta +, avec émission d'un positon (antiparticule de l'électron).

2. Ce sont différents isotopes du molybdène.

3. Il y a conservation du nombre de total de charges :  $42 = 43 + (-1)$

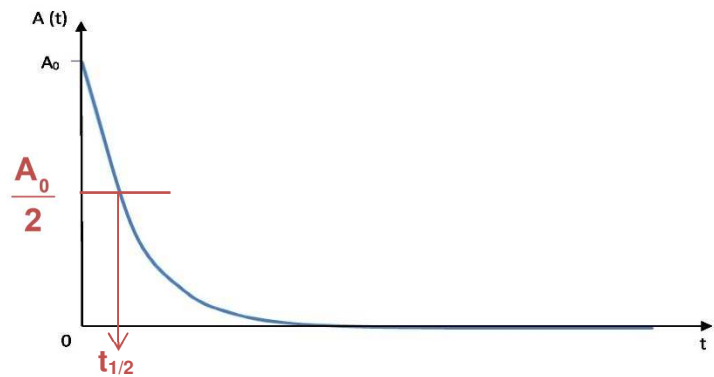
Il y a conservation du nombre total de masse :  $99 = 99 + 0$



5. La demi-vie d'un radioélément correspond à la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs d'un échantillon se sont désintégrés.

Pour la déterminer, on trace la

droite  $A(t) = \frac{A_0}{2}$ . Cette droite coupe la courbe à la date  $t = t_{1/2}$ .



6.  $2,5\text{ j} = 2,5 \times 24\text{ h} = 60\text{ h} = 10 \times t_{1/2}$ .

Au bout de 10 demi-vie, on peut considérer que l'échantillon n'est plus radioactif.

### Exercice 3 : radioactivité du lait à la suite de l'accident de Fukushima

1.1. L'annexe 1 concerne l'iode 131 :  ${}_{53}^{131}\text{I}$

1.2. Deux noyaux sont des isotopes d'un élément quand ils ont le même numéro atomique, mais pas le même nombre de masse.

Les isotopes de l'iode présents dans le document D2 sont :  ${}_{53}^{127}\text{I}$ ,  ${}_{53}^{123}\text{I}$  et  ${}_{53}^{131}\text{I}$ .

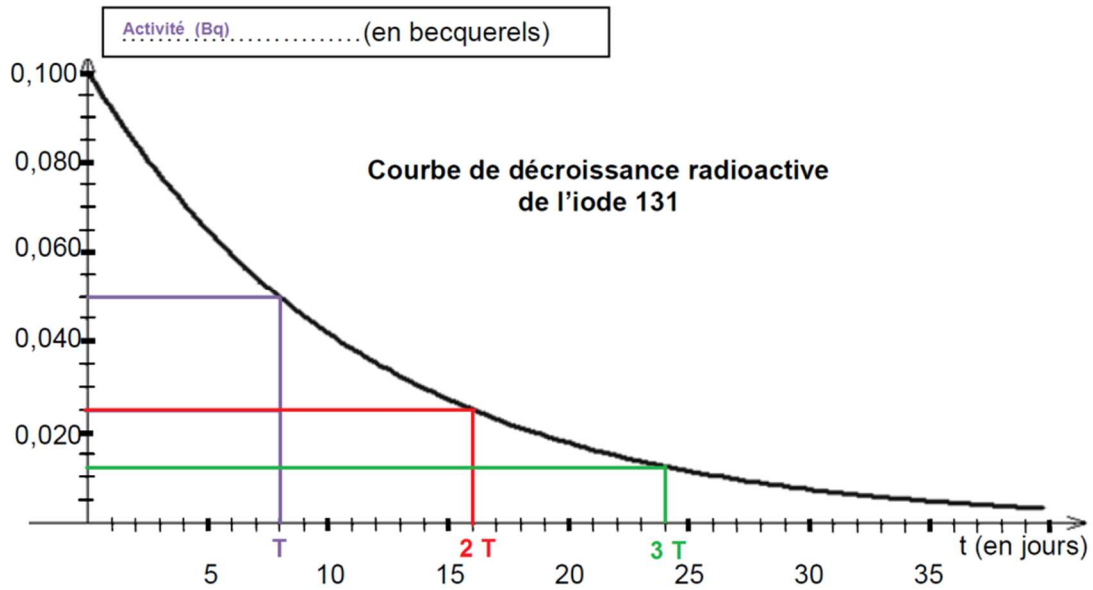
2.1. La particule  $\beta^-$  est un électron de symbole :  ${}_{-1}^0\text{e}$



3.1. La demi-vie correspond à la durée au bout de laquelle l'activité initiale est divisée par deux.

3.2. Dans le dernier paragraphe de l'annexe 1, on peut lire « L'iode 131 a une demi-vie de 8 jours ».

3.3.



3.4. 32 jours correspondent à 4T.

Au bout de T, l'activité initiale  $A_0 = 0,100$  Bq est divisée par 2,

Au bout de 2T, l'activité initiale  $A_0$  est divisée par  $2 \times 2 = 2^2$ ,

Au bout de 3T, l'activité initiale  $A_0$  est divisée par  $2 \times 2 \times 2 = 2^3$ ,

Au bout de 4 T, l'activité initiale  $A_0$  est divisée par  $2^4$ .

Donc au bout de 32 jours, soit 4T,  $A = \frac{0,100}{2^4} = 6,25 \cdot 10^{-3}$  Bq.

4.1. D'après la formule, la dose d'énergie absorbée s'exprime en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

4.2.  $D = \frac{E}{m} = \frac{0,0010}{10} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

4.3. Le risque le plus connu est le risque de développement de cancer.